

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物科

佳作

030304

田中吊鐘姬蛛築巢行為之探究

學校名稱：幼華學校財團法人臺北市幼華高級中等學  
校(附設國中)

作者：  國二 張芝穎  國二 蘇玟心  國二 余芊慧	指導老師：  張永浩
---	------------------

關鍵詞：田中吊鐘姬蛛、鐘型巢穴、能量分配與權衡

# 田中吊鐘姬蛛築巢行為之探究

## 摘要

本研究主要想了解田中吊鐘姬蛛生活史過程中能量之權衡及其特殊巢穴之功能，經相關研究發現，蜘蛛生活史過程中在能量分配上明顯具有權衡現象，捕獵能量的投資隨著齡期的增加明顯減少，例如，捕捉絲的數量及捕捉區的角度逐漸減少，而防禦能量的投資隨著齡期的增加明顯增加，例如，巢穴長度及巢穴重量逐漸增加，尤其到了成體後更加明顯；關於蜘蛛對築巢材料形狀的選擇明顯偏好粒狀材料，但顏色方面，蜘蛛對淺色及深色材料並無明顯選擇偏好性；另外，巢穴對蜘蛛來說避敵的功能大於避光，且巢穴內有保溫功能，有利於卵的孵化；最後，巢穴上黏附蜘蛛捕食後的螞蟻屍體有利於吸引其他螞蟻靠近，增加捕食機會，但無明顯抑菌效果。

## 壹、前言

蜘蛛若按照是否以蛛網來捕食獵物可分為非結網性蜘蛛及結網性蜘蛛，非結網性蜘蛛視力極佳，為主動出擊撲殺獵物，結網性蜘蛛的眼睛一般認為主要在感受光的亮度變化，成像力差，因此利用各式蛛網來捕捉獵物，屬於坐等伏擊型，靜靜待在網上等待獵物入網，但是相對地也較容易被其捕食者發現而受到攻擊，因此有些結網性蜘蛛會在蛛網上有不同的防禦機制，例如，吊葉蛛 (*Acusilas coccineus*) 會在其垂直圓網之網心懸掛著枯捲葉，平時蜘蛛就躲在其中以此為巢，卵囊也會放置於巢內，五紋鬼蛛 (*Aoaraneus pentagrammicus*) 及黑綠鬼蛛 (*Bijoaraneus mitificus*) 則會從其所織具有缺口的垂直圓網之中心拉一信號絲牽引至網旁邊之一片樹葉上，蜘蛛會將此樹葉向上捲曲，再以絲覆蓋上方成屋頂，蜘蛛就躲藏在此巢中，並以第一步足搭在信號絲上，待獵物落網隨即衝出巢穴制服之，塵蛛屬蜘蛛 (Genus *Cyclosa*) 會將食繭及卵囊留置在網上偽裝成蜘蛛，使捕食者誤判而攻擊錯誤對象，增加蜘蛛本身逃離之機會，而姬蛛科蜘蛛之部分種類會利用不同材料在其不規則網之中心建造避難所，其中最特別的是建造鐘型巢穴的蜘蛛。

台灣目前結鐘型巢穴之姬蛛科蜘蛛分屬在數個屬中，包含 *Cryptachaea* 及 *Parasteatoda* 屬的部分種類，及 *Campanicola* 屬的所有種類 (黃，2023)，此類蜘蛛主要在材質穩定的棲地結網，利用棲地周圍獲得之材料以蛛絲黏附成鐘型巢穴，再以一根蛛絲將此巢穴懸吊而下，巢

穴開口朝下，並以數條捕捉絲從巢口拉至地面形成錐狀捕捉區，蜘蛛躲在巢穴中，當有獵物碰觸到捕捉絲時，蜘蛛就會衝出將獵物以絲包裹拉回巢中 (圖一)。



圖一、田中吊鐘姬蛛蛛網及鐘型巢穴。

本研究以 *Campanicola* 屬之田中吊鐘姬蛛 (*Campanicola tanakai*) 為對象，探討此類蜘蛛結網及築巢之相關行為，根據生活史理論，環境中之自然資源有一定限度，生物必須將能量之投資分配得宜，根據前人針對 *Campanicola campanulata* 進行研究發現，蜘蛛成體會因為餵食的多寡進一步影響其在結網行為上之能量分配進行權衡，餵食量較少的蜘蛛其巢穴離地面距離較短，捕捉絲較多，捕捉區較大，也就是其將能量大部分花在捕食上，而當餵食過量時，其鐘型巢穴體積相對較大，巢穴距離地面較高，捕捉絲量較少，能量花費轉移到防禦上 (Zhang et al., 2022)；另外，給予 *Campanicola campanulata* 成體不同重量材質築巢，蜘蛛會選擇較輕的材質來構築巢穴，減少防禦投資上所花的能量，而將更多能量投資在捕食上，例如織較多的捕捉絲 (Zhang et al., 2023)，但吊鐘蜘蛛在生活史過程中，即從卵孵化後一直到成體其能量分配會如何轉換是本研究想了解的問題。

巢穴一般被認為是躲避捕食者、孕育下一代之構造，但很多人認為蜘蛛會躲在巢穴或陰暗的環境是因為其具負趨光性，本研究想進一步探討吊鐘蜘蛛之鐘型巢穴在避光與躲避敵

害上之功能熟輕熟重，另外，曾經有學者研究過一種以色列沙漠的狼蛛 (*Lycosa hyraculus*)，蜘蛛會在地上挖洞當作巢穴，研究發現其洞穴具有恆溫作用 (Steves, Berliner, & Pinshow, 2021)，而吊鐘蜘蛛的鐘型巢穴是否具有此功能，且進一步影響卵的孵化天數是本研究想探討的另一課題。

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會曾有一件針對吊鐘姬蛛築巢行為的研究提到在混合片狀和顆粒狀材料的情況下，蜘蛛對片狀材料的選擇能力較強，而在均勻分散的色紙片中，發現蜘蛛對黃色特別敏感，且在紅色和綠色兩種紙片中，蜘蛛較喜歡用紅色紙片來築巢，在綠色和黃色紙片中，蜘蛛喜歡用黃色的紙片來築巢；對於藍色和紅色紙片的選擇，蜘蛛喜歡用藍色的紙片來築巢 (陳、范，2006)，其有關築巢材料形狀實驗，作者並未對材料形狀之重量統一，故結果與野外實際觀察結果不一致，本研究將對不同形狀之築巢材料的重量統一，探討吊鐘姬蛛對築巢材料形狀是否有偏好性，至於同一研究中吊鐘蜘蛛對築巢材料顏色選擇部分因為均是使用亮色系之材料，本研究假設吊鐘姬蛛對顏色有感知能力，且築巢材料顏色會配合環境色以達到隱蔽效果，因此設計與野外環境顏色相近之褐色紙球混合反差大的白色紙球來探討吊鐘蜘蛛對築巢材料顏色是否具有偏好性。

吊鐘姬蛛主要獵物為螞蟻，其常把食用後之螞蟻屍體黏附在巢穴巢口外，有許多研究提到螞蟻體表萃取物具有抑菌功能 (Matiz-Melo & Osorio, 2013)，故本研究想探討吊鐘姬蛛將螞蟻屍體置放在巢穴上是否可以達到抑菌效果，由於野外觀察過程常發現吊鐘姬蛛結網位置常是在螞蟻較多或螞蟻經過的路徑上，我們假設蜘蛛將螞蟻屍體黏附在巢穴外具有吸引其他螞蟻以增加捕食成功機會之功能。

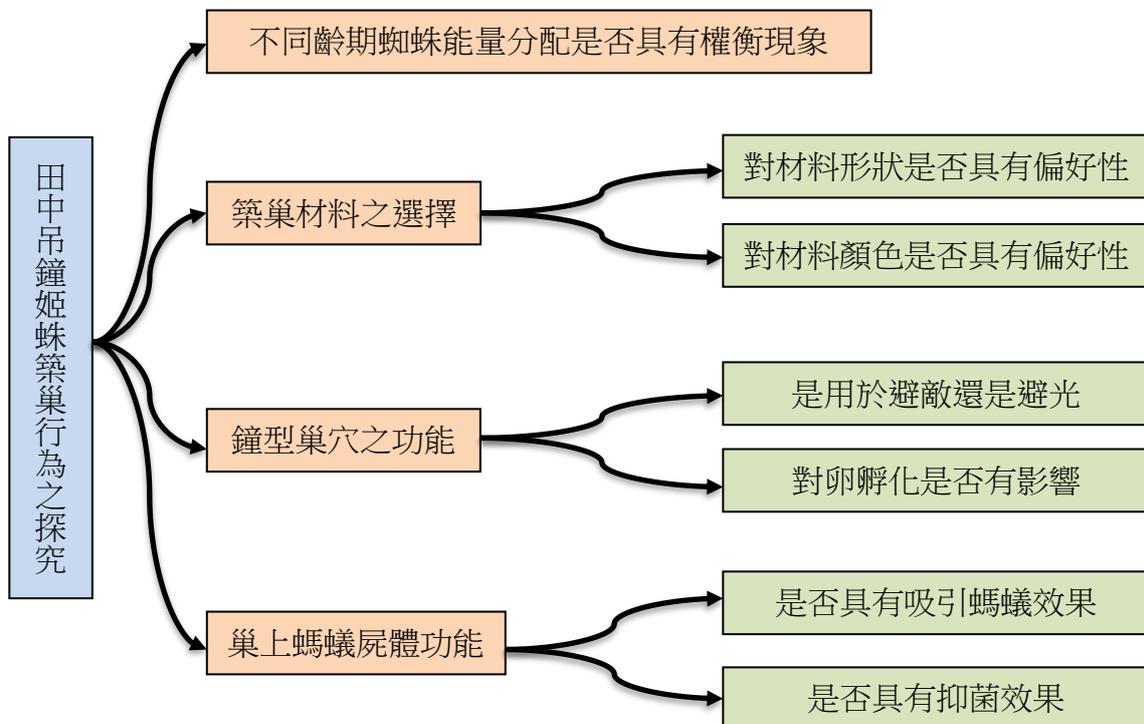
本研究利用田中吊鐘姬蛛針對以上疑問進行了以下實驗：

- 一、探討蜘蛛不同齡期能量投資之權衡
- 二、探討蜘蛛築巢材料之選擇偏好性
  - (一) 探討蜘蛛築巢材料形狀之選擇偏好性
  - (二) 探討蜘蛛築巢材料顏色之選擇偏好性
- 三、探討蜘蛛巢穴之功能
  - (一) 探討蜘蛛是否具負趨光性
  - (二) 探討巢穴對卵孵化天數之影響
- 四、探討蜘蛛巢穴上螞蟻屍體之功能
  - (一) 探討巢穴上螞蟻屍體是否具吸引其他螞蟻之效果
  - (二) 探討巢穴上螞蟻屍體是否具抑菌效果

## 貳、研究設備及器材

實驗器材	用途
游標尺	測量蜘蛛網結構各部位形質
電子微量天平 (A&D HR-250A)	測量鐘型巢穴重量
透明收納盒 (長 16.5 cm，寬 12.5 cm，高 13.5 cm)	飼養蜘蛛
竹筷	製作蜘蛛結網框架
透明護貝膠膜	製作蜘蛛築巢材料
TES-1327K 紅外線槍型、K 型兩用溫度計	測量蜘蛛鐘型巢穴內、外溫度
標本瓶	採集蜘蛛及蜘蛛鐘型巢穴
3D 印表機 (Creality Ender-3 V2 Neo)	列印螞蟻選擇實驗迷宮
空氣幫浦 (Teion 1000)	提供迷宮實驗氣流
培養皿	抑菌實驗及卵孵化實驗
LB 瓊脂培養基	培養細菌

## 參、研究過程或方法



圖二、研究架構。

### 實驗一、探討蜘蛛不同齡期能量投資之權衡

實驗目標：本實驗欲藉由野外實際調查歸納、統計蜘蛛體長與蛛網各結構之關係，探討隨著蜘蛛齡期增加，其在捕食與防禦能量上的投資是否發生權衡現象。

#### 實驗流程：

(一) 針對野外田中吊鐘姬蛛族群進行下列因子量測、記錄。

1. 基本資料：

性別、體長 (由頭胸部前緣量至腹部末端)、卵繭數目、懸掛絲長度 (圖三、C)、巢口至地面垂直長度 (圖三、E)。

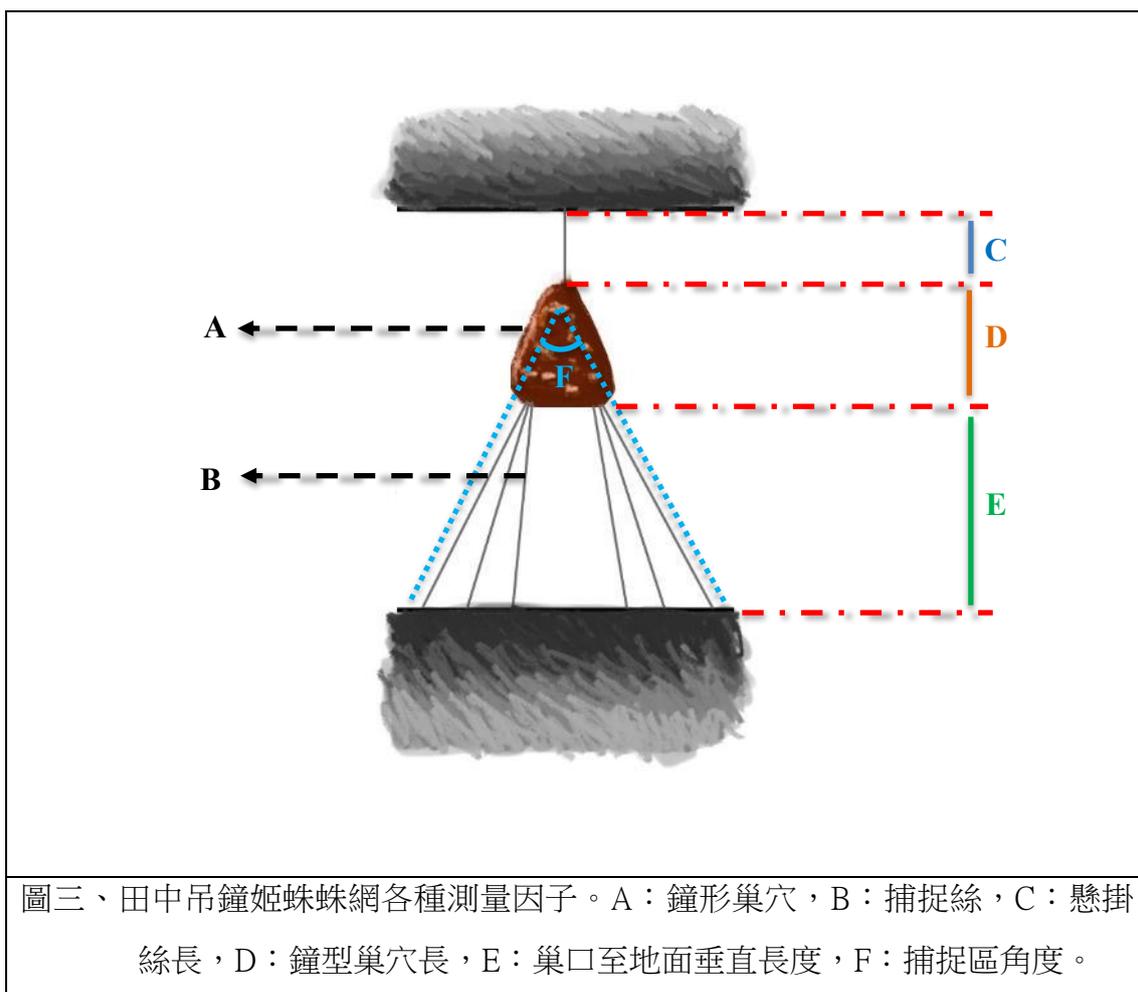
2. 與捕食相關能量投資因子：

捕捉絲 (圖三、B) 數量、捕捉區角度 (圖三、F)。

3. 與防禦相關能量投資因子：

鐘型巢穴 (圖三、A) 重量、鐘型巢穴長度 (圖三、D)。

(二) 統計分析不同齡期蜘蛛各種結網因子之變化。



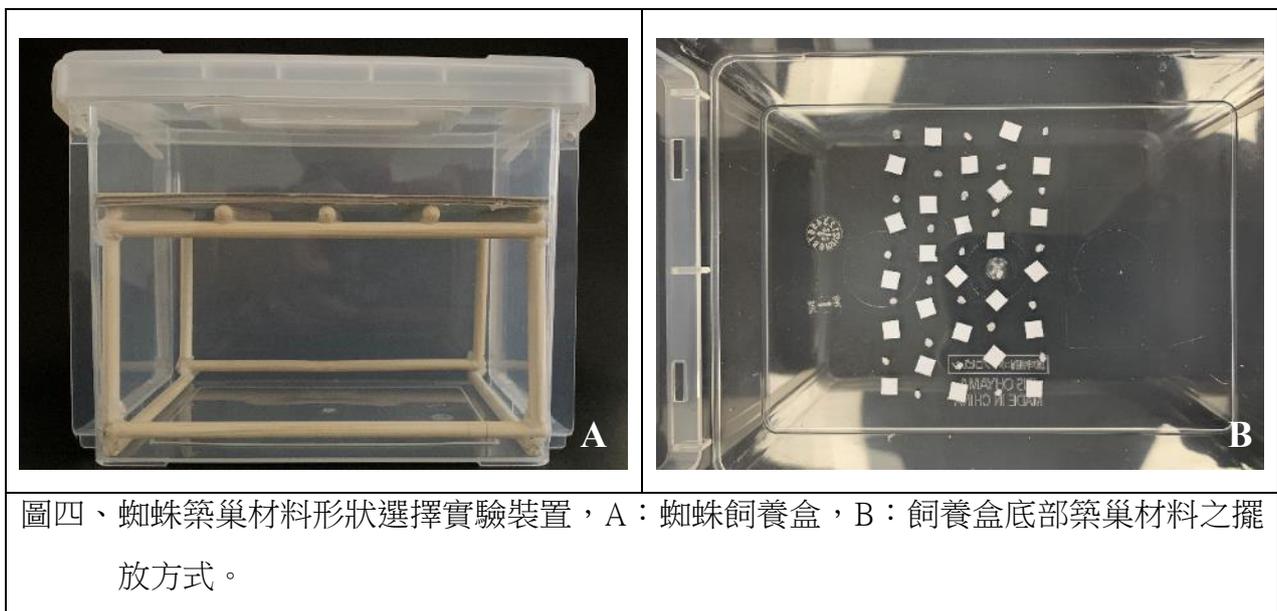
## 實驗二、探討蜘蛛築巢材料之選擇偏好性

實驗目標：本實驗欲探討吊鐘姬蛛對築巢材料之形狀及顏色是否具有選擇偏好性。

實驗流程：

### (一) 探討蜘蛛築巢材料形狀之選擇偏好性

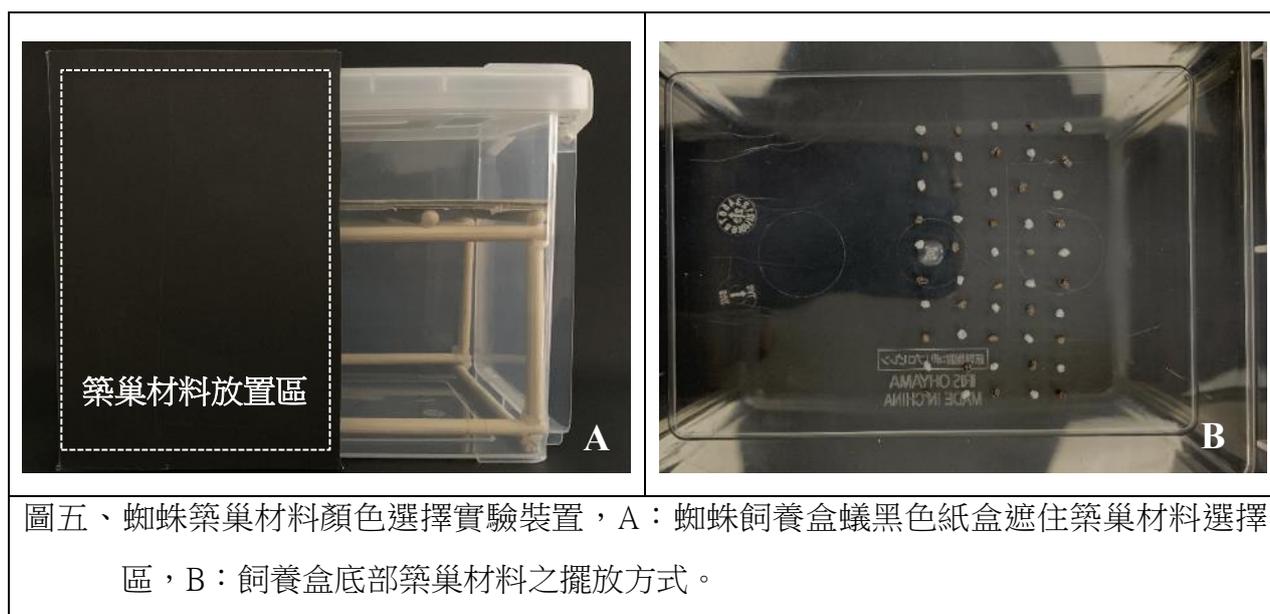
1. 利用網站圖形方格紙產生器將 A4 紙列印出每格 5 \* 5 mm 之方格紙，將其秤重、切割，得到每片 5 \* 5 mm 大小，重約 0.0016 公克的紙片，一部分維持片狀，一部分揉成粒狀。
2. 準備飼養盒 (長 16.5 cm，寬 12.5 cm，高 13.5 cm)，將 25 片紙片及 25 粒紙球均勻擺放於盒底 (圖四、B)，盒內放置以竹筷製作高 9 cm 之框架，提供蜘蛛攀爬結網用，放入一隻吊鐘姬蛛，並於框架頂部以紙板蓋上，再蓋上飼養盒蓋子 (圖四、A)。
3. 待吊鐘姬蛛結鐘型巢穴後取出巢穴計算蜘蛛製作巢穴之片狀紙片及粒狀紙球之數量。
4. 每次實驗完均以酒精擦拭飼養盒及框架，並將築巢材料換新，再進行下一次實驗。



### (二) 探討蜘蛛築巢材料顏色之選擇偏好性

1. 於 Photoshop 影像處理軟體中吸取蜘蛛巢穴顏色列印製作雙面具相同褐色 (# 5e4d4d) 之 A4 紙張，將此褐色紙張切割成 5 \* 5 mm 之紙片，每片重約 0.0016 公克，將這些紙片揉成粒狀紙球。
2. 另外準備相同大小、重量之白色粒狀紙球。

3. 準備飼養盒 (長 16.5 cm，寬 12.5 cm，高 13.5 cm)，將 25 粒白色紙球及 25 粒褐色紙球均勻擺放於盒底 (圖五、B)，盒內放置以竹筷製作高 9 cm 之框架，提供蜘蛛攀爬結網用，放入一隻吊鐘姬蛛，並於框架頂部以紙板蓋上，再蓋上飼養盒蓋子，並利用黑色紙盒將有築巢材料之飼養盒區域遮住 (圖五、A)。
4. 待吊鐘姬蛛結鐘型巢穴後取出巢穴計算製作巢穴之白色及褐色粒狀紙球之數量。
5. 每次實驗完均以酒精擦拭飼養盒及框架，並將築巢材料換新，再進行下一次實驗。



### 實驗三、探討蜘蛛巢穴之功能

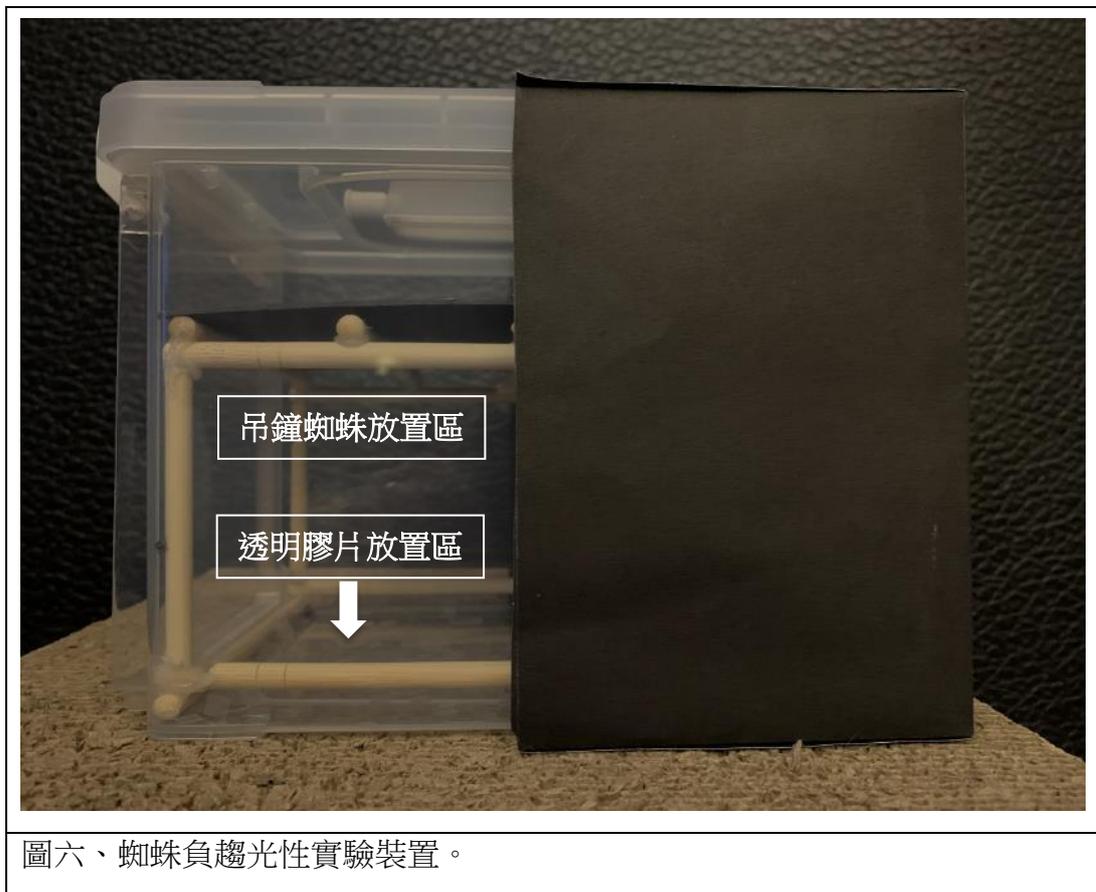
**實驗目標：**一般認為蜘蛛的巢穴主要功能是避敵與育幼，關於吊鐘姬蛛，部分學者認為其具有負趨光性所以築巢躲藏於其中，本實驗想探討吊鐘姬蛛躲藏於巢穴中，是為避敵還是避光，另外野外調查過程中發現巢穴內溫度明顯高於巢外溫度，因此我們想瞭解巢穴對其卵的孵化是否具有影響。

#### 實驗流程：

##### (一) 探討蜘蛛是否具負趨光性

1. 準備實驗二所使用的蜘蛛飼養盒，盒內放置以竹筷製作之框架，利用 5 cm 高的紙板平均將飼養盒下半部分隔成兩個區域，但上半部保持連通。
2. 將透明護貝膠膜切割成 5 \* 5 mm 的片狀材料，取 25 片均勻置於飼養盒其中一區的底部。
3. 將一隻吊鐘姬蛛置於有透明膠片的區域，並於竹筷框架頂部以紙板蓋上，再蓋上飼養盒蓋子，並利用黑色紙盒將無透明片狀膠膜之飼養盒區域遮住 (圖六)。

4. 待蜘蛛結網，記錄蜘蛛移至遮光處結網，還是停留在無遮光處結網築透明巢穴。
5. 每次實驗完均以酒精擦拭飼養盒及框架，並將築巢材料換新，再進行下一次實驗。



## (二) 探討巢穴對卵孵化天數之影響

### 【巢穴內外溫度測量】

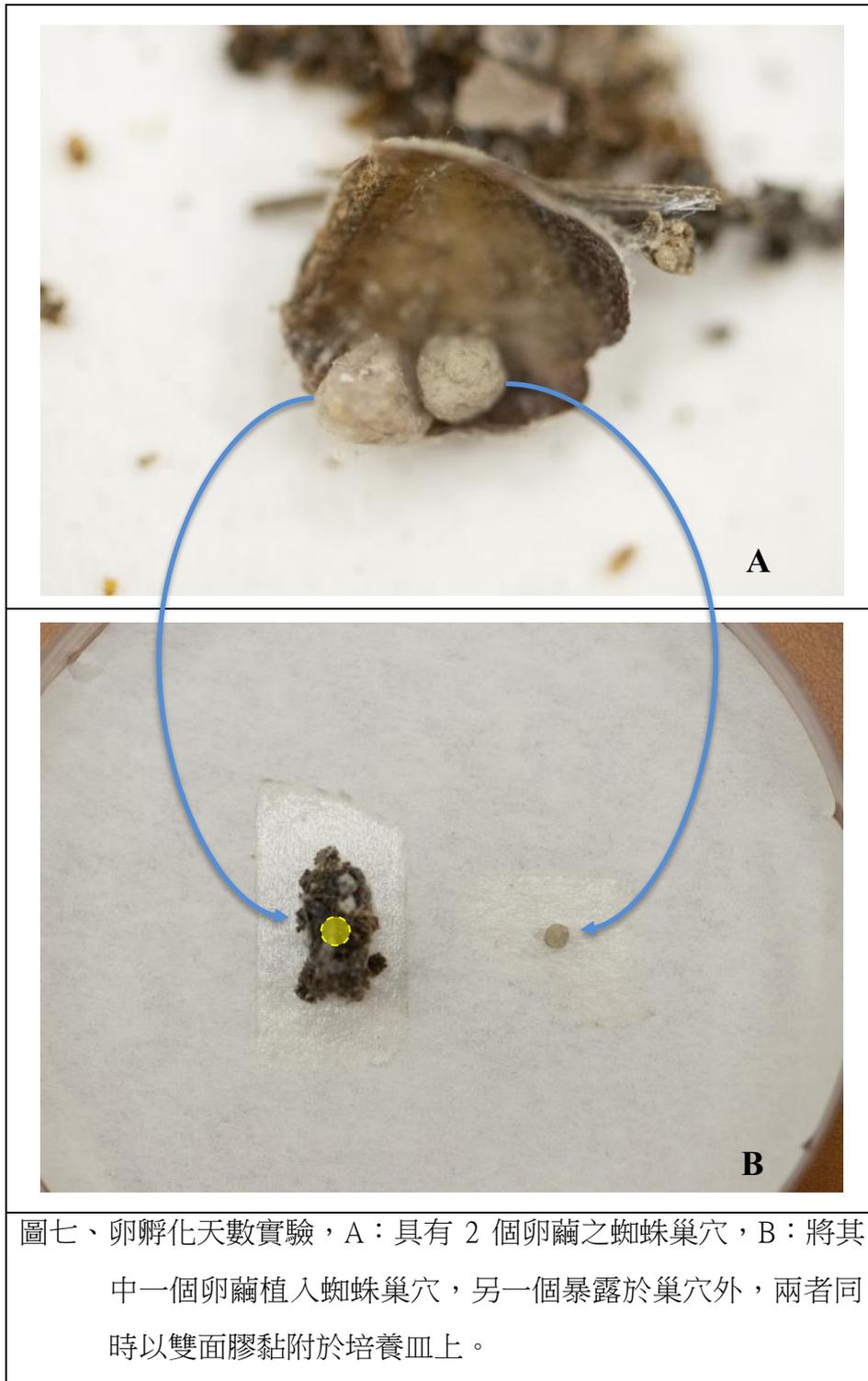
1. 將野外採集之田中吊鐘姬蛛巢穴置於戶外陽台。
2. 利用 TES-1327K 紅外線槍型、K 型兩用溫度計，以紅外線溫度計測量巢穴外溫度，並利用熱電偶溫度計測量巢穴內溫度。
3. 分析巢穴內、外溫度差異。

### 【不同位置卵孵化天數實驗】

1. 尋找同時具有 2 個以上卵繭之鐘型巢穴 (圖七、A)。
2. 取出同一巢穴內之 2 個卵繭，一個植入完整鐘型巢穴中，另一個暴露於巢穴外，將植入卵繭之巢穴及暴露於巢穴外的卵繭以雙面膠黏貼固定於同一培養皿中 (圖七、B)，再將此培養皿放置於戶外陽台。
3. 每天測量巢外溫度，並記錄巢穴中之卵繭及暴露於巢穴外之卵繭內之卵是否孵

化。

4. 統計分析置於巢穴中及暴露在巢穴外的卵孵化天數是否具有差異。



圖七、卵孵化天數實驗，A：具有 2 個卵繭之蜘蛛巢穴，B：將其中一個卵繭植入蜘蛛巢穴，另一個暴露於巢穴外，兩者同時以雙面膠黏附於培養皿上。

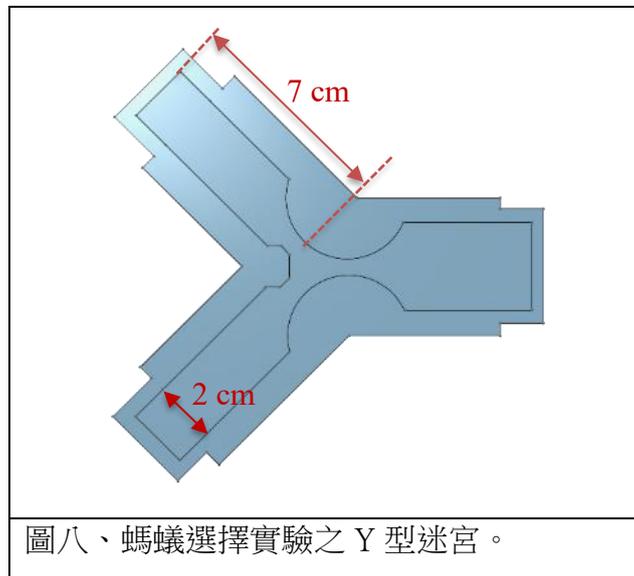
#### 實驗四、探討蜘蛛巢穴上螞蟻屍體之功能

**實驗目標：**本實驗想探討鐘型巢穴上蜘蛛放置食用後之螞蟻屍體之用意，我們推測有二種可能，第一是螞蟻屍體具有吸引其他螞蟻之功能，藉此增加捕食到螞蟻之機率，第二個可能是螞蟻屍體具有抗菌物質，減少巢穴細菌之孳生。

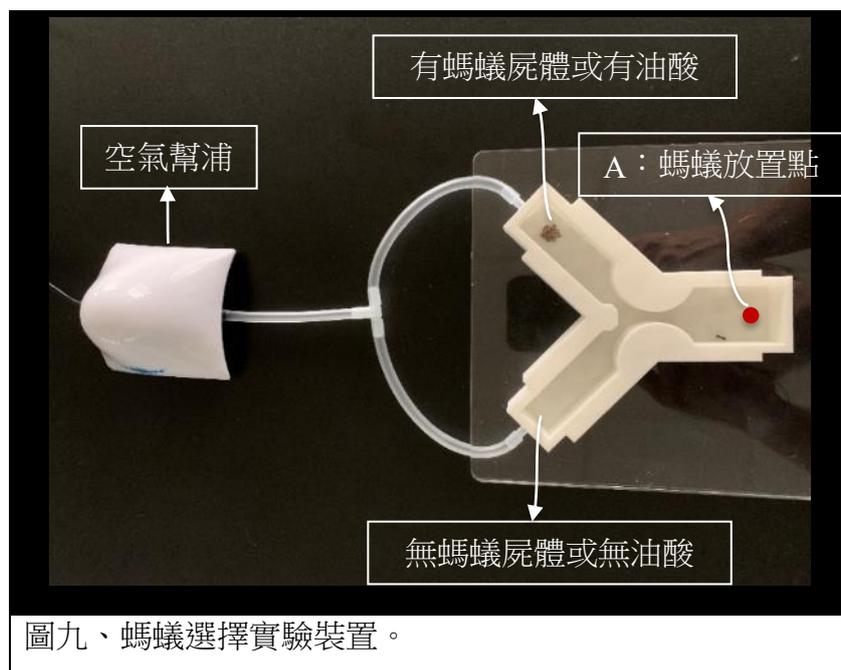
## 實驗流程：

### (一) 探討巢穴上螞蟻屍體是否具吸引其他螞蟻之效果

1. 利用 Onshape 程式設計繪製走道長均為 7 cm，寬為 2 cm 之 Y 型迷宮，再將設計好的檔案轉成 STL 檔，導入 3D 列印機 (Creality Ender-3 V2 Neo) 列印 Y 型迷宮 (圖八)。



2. Y 型通道兩端打孔分別以塑膠管連上打氣幫浦，提供氣流使氣味可以流動。
3. Y 型迷宮分別進行以下二種氣味選擇實驗分組：
  - (1) 有從巢穴取下之螞蟻屍體 vs 無螞蟻屍體。
  - (2) 有油酸 (Oleic acid) vs 無油酸。
4. Y 型管走道鋪上透明膠膜，將 1 隻螞蟻放入 A 點，再以透明壓克力板蓋上 (圖九)。
5. 記錄螞蟻選擇方向。進行下次實驗前均換新的膠膜，並以酒精擦拭 Y 型迷宮。



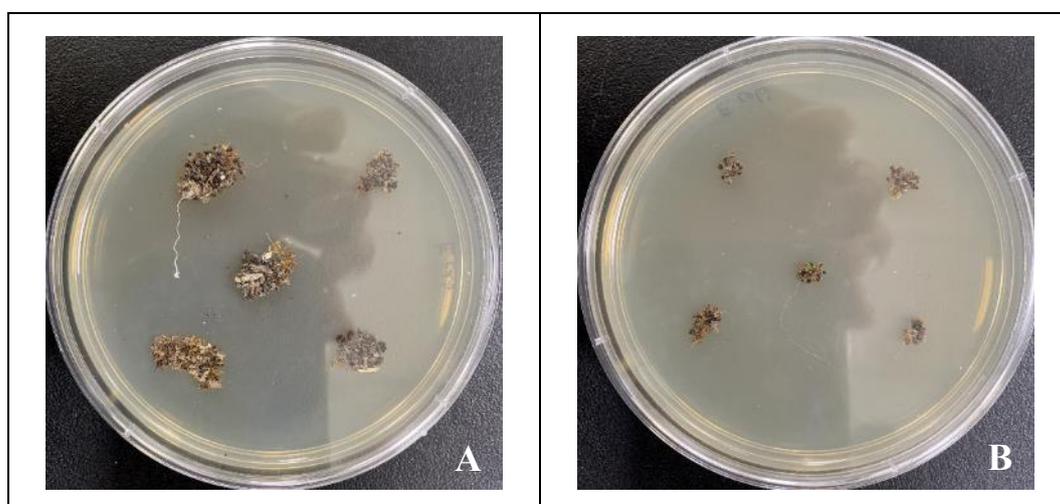
## (二) 探討巢穴上螞蟻屍體是否具抑菌效果

### 【細菌瓊脂培養基塗盤製備】

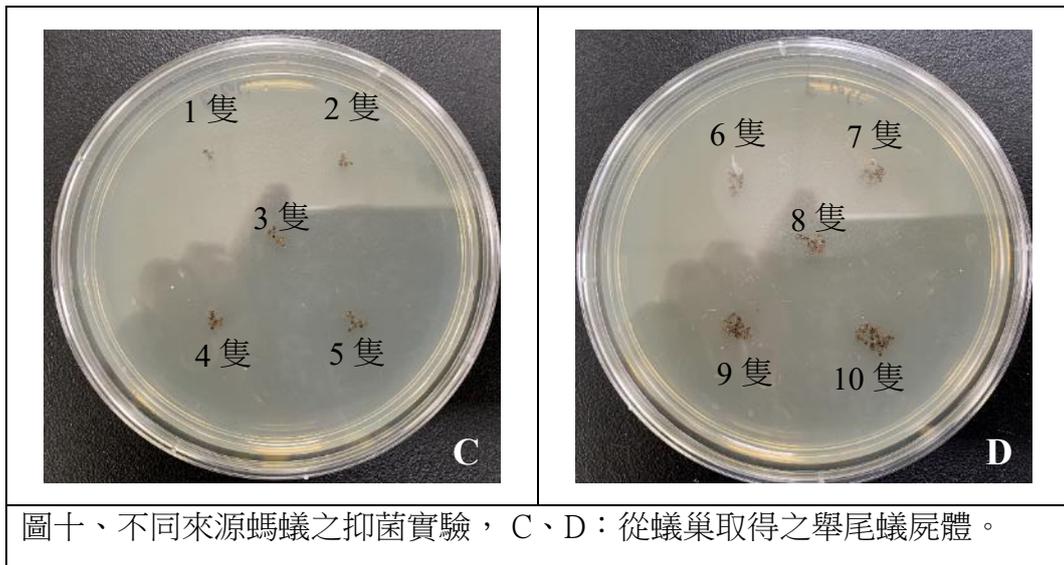
1. 自凍菌中接種無致病性之大腸桿菌菌株至 LB 培養基 (3 cc) 中。
2. 放置在 37°C 過夜搖晃培養。
3. 隔日取出，測量菌液 OD600。
4. 粗略計算菌濃度，以 OD600 = 1 時約 8e8 顆菌 / 毫升計算。
5. 以無菌水稀釋菌液至濃度約為每毫升 1000 顆菌 (意即每 0.1 毫升 100 顆菌)。
6. 取 100 毫升稀釋後的菌液以玻璃棒均勻塗抹在 LB 瓊脂培養基上。

### 【螞蟻屍體抑菌實驗】

1. 將 2 個瓊脂培養基細菌塗盤帶至野外，放入下列樣本，操作過程需利用 75% 酒精消毒手及採樣器材：
  - (1) 含有螞蟻屍體之蜘蛛鐘型巢穴 5 個放入同一個瓊脂培養基細菌塗盤上 (圖十、A)。
  - (2) 蜘蛛鐘型巢穴上以鑷子取下之螞蟻屍體 5 堆，放入另一個瓊脂培養基細菌塗盤上 (圖十、B)。
2. 於實驗室內將野外採集飼養之舉尾蟻屍體分成 10 堆，依序為一堆 1 隻至一堆 10 隻，前五堆放置於一個瓊脂培養基細菌塗盤上，另外五堆放置於另一個瓊脂培養基細菌塗盤上 (圖十、C - D)。
3. 將上列 4 個瓊脂培養基置放於室溫，每天觀察細菌生長狀況，觀察螞蟻屍體周圍是否有抑菌環產生。



圖十、不同來源螞蟻之抑菌實驗，A：具有螞蟻屍體之巢穴，B：單純從巢穴取下之螞蟻屍體。



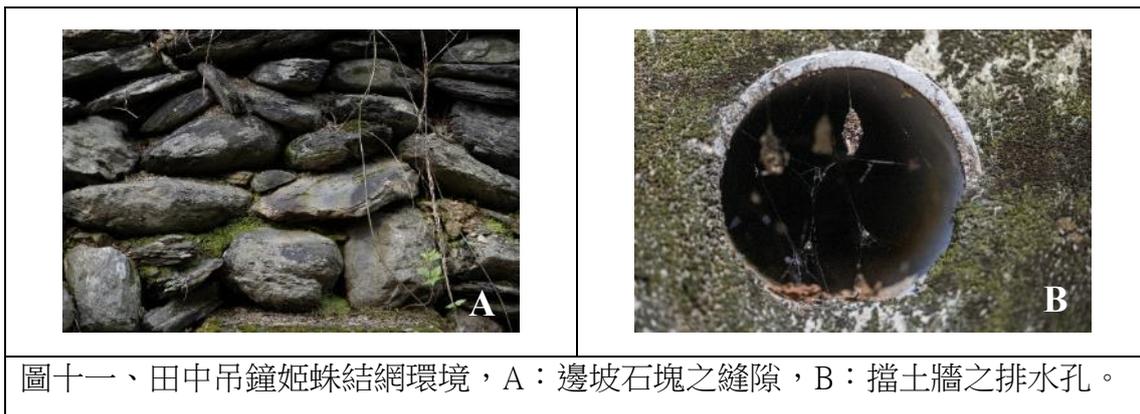
圖十、不同來源螞蟻之抑菌實驗，C、D：從蟻巢取得之舉尾蟻屍體。

## 肆、研究結果

### 實驗一、探討蜘蛛不同齡期結網能量之分配

#### (一) 田中吊鐘姬蛛結網棲地

吊鐘姬蛛主要在材質穩定的棲地結網，本研究發現田中吊鐘姬蛛族群大量出現的環境為以石塊為材料之邊坡駁坎石縫中 (圖十一、A) 或擋土牆上之排水孔中 (圖十一、B)，野外調查地點有台北市劍南路沿線 (25.087835, 121.556187)、新北市土城山中湖週邊 (24.956780, 121.468404) 及新北市小坪頂路沿線 (25.161942, 121.489001)，後續實驗用蜘蛛也是從上述地點採集。

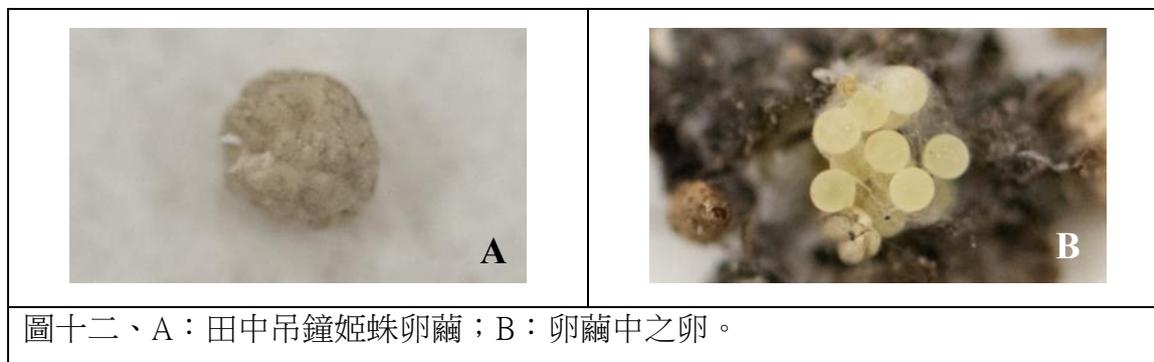


圖十一、田中吊鐘姬蛛結網環境，A：邊坡石塊之縫隙，B：擋土牆之排水孔。

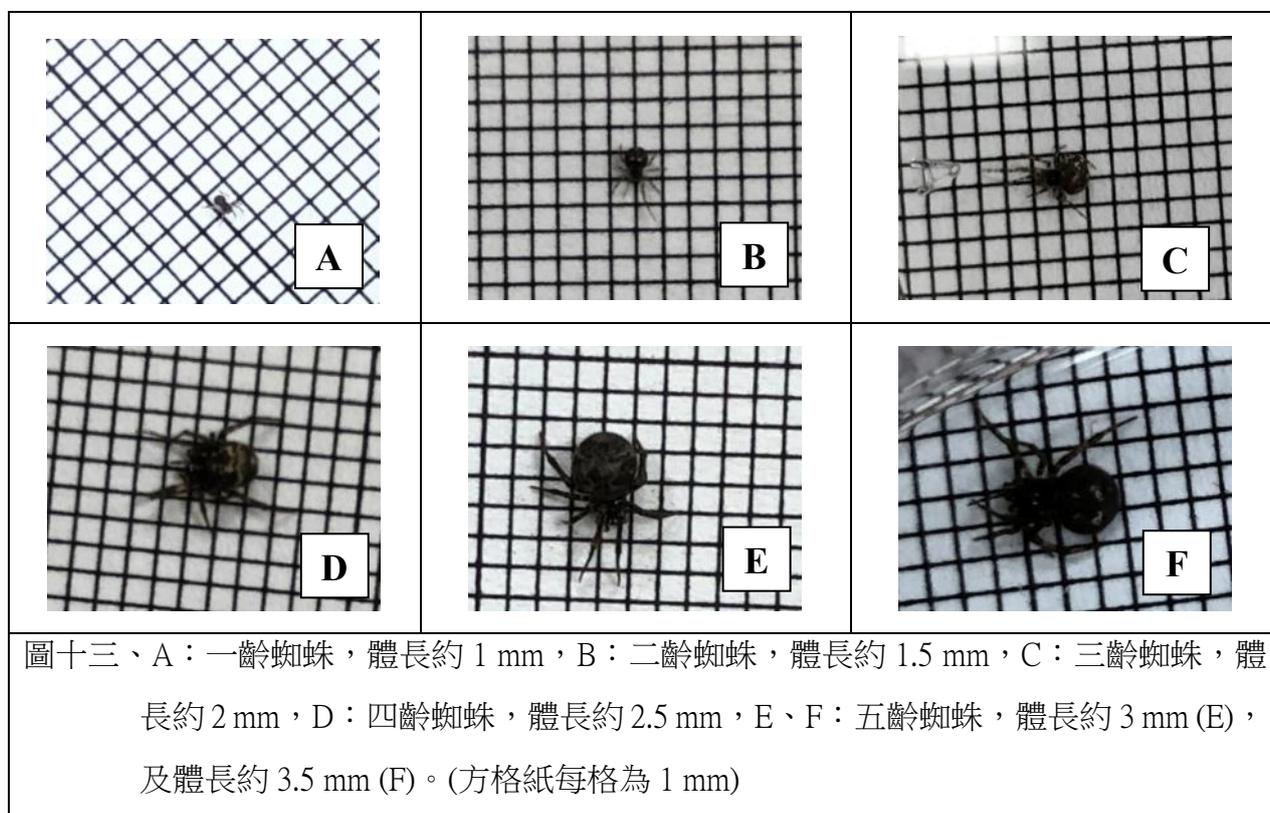
#### (二) 體長與齡期關係

吊鐘姬蛛成蛛約產 1 - 3 個卵繭 (圖十二、A) 於鐘型巢穴中，每個卵繭內約有 15 個卵 (圖十二、B)，剛孵化之幼蛛約 0.9 - 1 mm，實驗期間共測量野外蜘蛛共 106 隻，將野外帶回之蜘蛛置於貼上方格紙之培養皿上量測體長，結果顯示，野外田中吊鐘姬蛛體長從約 1mm - 3.5mm，若按照一般小型蜘蛛一生約蛻皮 4 - 5 次，我們推測，每蛻皮一次體

長約增加 0.5 mm，即一齡蜘蛛約 1mm，二齡蜘蛛約 1.5mm，三齡蜘蛛約 2mm，四齡蜘蛛約 2.5mm，五齡蜘蛛約 3 - 3.5mm，體長 3 mm 以上均可發現明顯外雌器，即達性成熟，故全歸類為第五齡之成體 (圖十三、A - F)，後續探討均將蜘蛛依照體長分成上述五個齡期、六個組別。



圖十二、A：田中吊鐘姬蛛卵繭；B：卵繭中之卵。

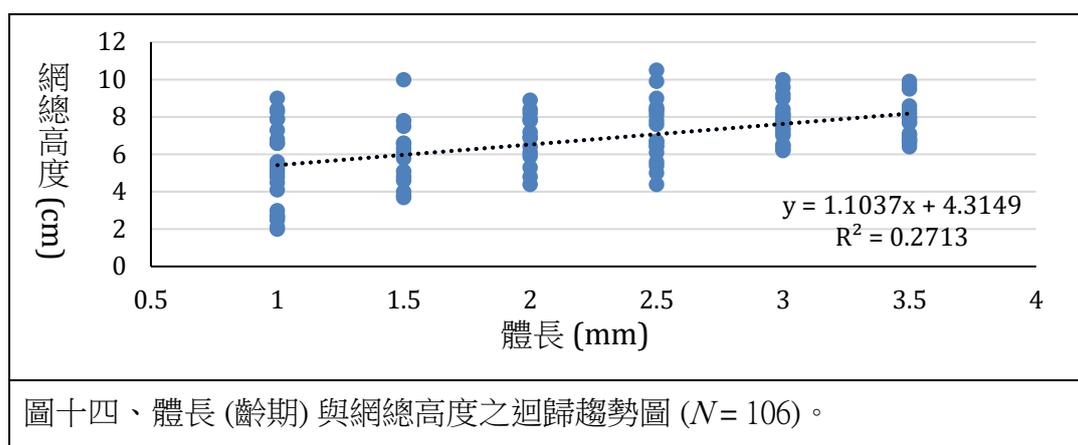


圖十三、A：一齡蜘蛛，體長約 1 mm，B：二齡蜘蛛，體長約 1.5 mm，C：三齡蜘蛛，體長約 2 mm，D：四齡蜘蛛，體長約 2.5 mm，E、F：五齡蜘蛛，體長約 3 mm (E)，及體長約 3.5 mm (F)。(方格紙每格為 1 mm)

### (三) 齡期與網總高度之關係

野外調查的 106 隻蜘蛛中，體長 1 mm 組別網總高度約 2 - 9 cm，平均值為  $5.26 \pm 2.27$  ( $n = 23$ )，體長 1.5 mm 組別網總高度約 3.7 - 10 cm，平均值為  $5.90 \pm 1.77$  ( $n = 14$ )，體長 2 mm 組別網總高度約 4.4 - 8.9 cm，平均值為  $6.79 \pm 1.38$  ( $n = 14$ )，體長 2.5 mm 組別網總高度約 4.4 - 10.5 cm，平均值為  $7.27 \pm 1.68$  ( $n = 18$ )，體長 3 mm 組別網總高度約 6.2 - 10 cm，平均值為  $7.79 \pm 1.07$  ( $n = 20$ )，體長 3.5 mm 組別網總高度約 6.4 - 9.9 cm，平均值為

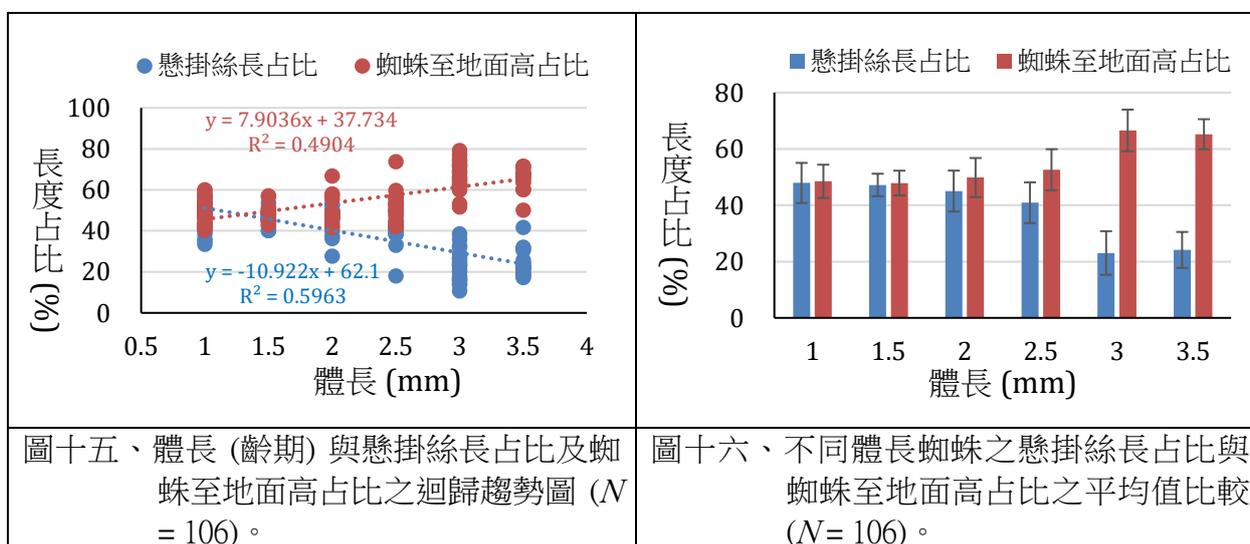
7.82 ± 1.11 ( $n = 17$ )，體長與網總高度之迴歸分析顯示，相關係數  $r = 0.52$ ，體長與網總高度呈中度正相關(圖十四)，即隨著齡期增加蜘蛛所結之網總高度越高。



圖十四、體長(齡期)與網總高度之迴歸趨勢圖( $N = 106$ )。

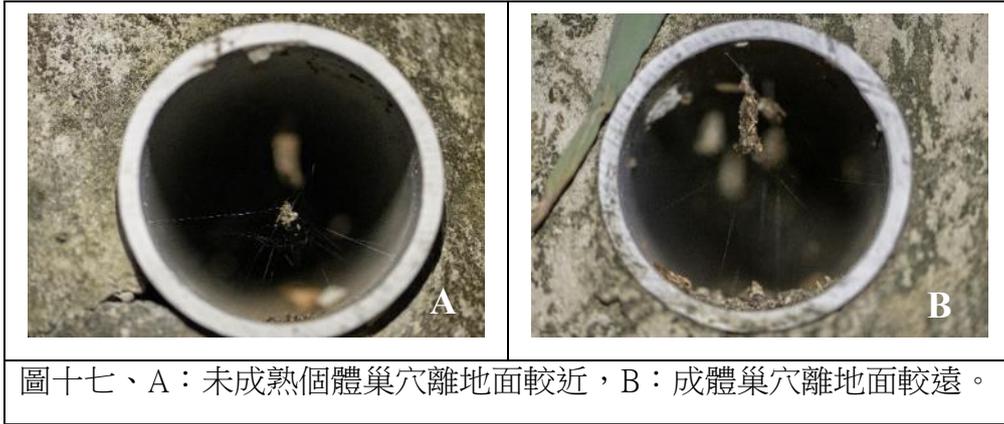
#### (四) 齡期與懸掛絲長及蜘蛛至地面高度比例變化之關係

野外調查的 106 隻蜘蛛中，體長 1 mm 組別懸掛絲長占比平均值為 47.91% ± 7.13，蜘蛛至地面高占比平均值為 48.48% ± 5.91 ( $n = 23$ )，體長 1.5 mm 組別懸掛絲長占比平均值為 47.19% ± 3.99，蜘蛛至地面高占比平均值為 47.86% ± 4.4 ( $n = 14$ )，體長 2 mm 組別懸掛絲長占比平均值為 45.02% ± 7.26，蜘蛛至地面高占比平均值為 49.82% ± 6.95 ( $n = 14$ )，體長 2.5 mm 組別懸掛絲長占比平均值為 40.89% ± 7.23，蜘蛛至地面高占比平均值為 52.59% ± 7.31 ( $n = 18$ )，體長 3 mm 組別懸掛絲長占比平均值為 23.04% ± 7.75，蜘蛛至地面高占比平均值為 66.56% ± 7.39 ( $n = 20$ )，體長 3.5 mm 組別懸掛絲長占比平均值為 24.11% ± 6.4，蜘蛛至地面高占比平均值為 65.2% ± 5.34 ( $n = 17$ ) (圖十六)。從體長與懸掛絲占比的迴歸分析可得出，相關係數  $r = 0.77$ ，成高度負相關，而體長與蜘蛛至地面高占比的迴歸分析得到，相關係數  $r = 0.7$ ，成高度正相關(圖十五)，也就是說，蜘蛛未成熟個體，巢穴離地面較近(圖十七、A)，到了成體後蜘蛛巢穴明顯遠離地面(圖十七、B)。



圖十五、體長(齡期)與懸掛絲長占比及蜘蛛至地面高占比之迴歸趨勢圖( $N = 106$ )。

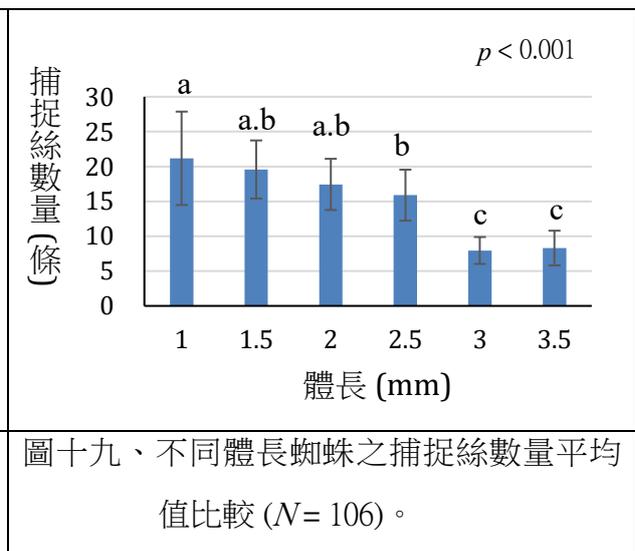
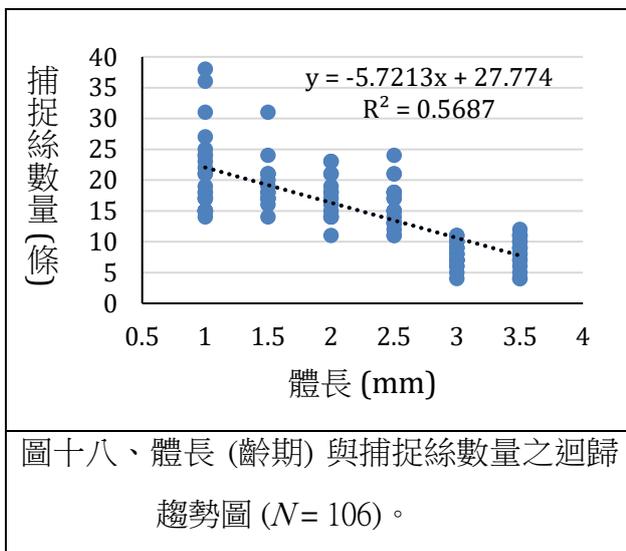
圖十六、不同體長蜘蛛之懸掛絲長占比與蜘蛛至地面高占比之平均值比較( $N = 106$ )。

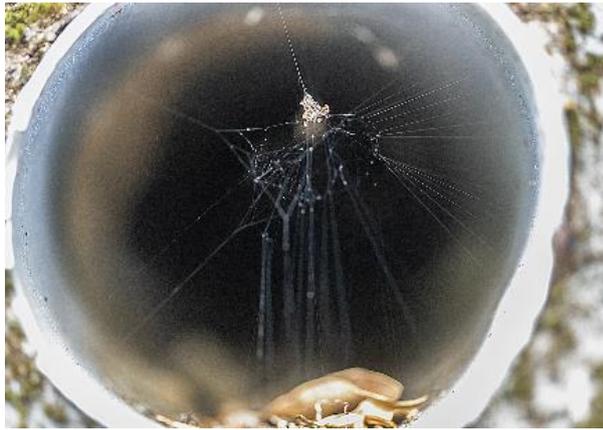


### (五) 齡期與捕捉絲數量之關係

體長與捕捉絲數量迴歸分析結果顯示，相關係數  $r = 0.75$ ，成高度負相關 (圖十八)，即隨齡期增加，捕捉絲數量越少。

野外調查的 106 隻蜘蛛中，體長 1 mm 組別之捕捉絲數量平均值為  $21.17 \pm 6.7$  條 ( $n = 23$ )，體長 1.5 mm 組別之捕捉絲數量平均值為  $19.57 \pm 4.16$  條 ( $n = 14$ )，體長 2 mm 組別之捕捉絲數量平均值為  $17.43 \pm 3.67$  條 ( $n = 14$ )，體長 2.5 mm 組別之捕捉絲數量平均值為  $15.89 \pm 3.66$  條 ( $n = 18$ )，體長 3 mm 組別之捕捉絲數量平均值為  $7.95 \pm 1.93$  條 ( $n = 20$ )，體長 3.5 mm 組別之捕捉絲數量平均值為  $8.29 \pm 2.49$  條 ( $n = 17$ )，進行單因子變異數分析 (ANOVA) 結果顯示， $p = 4.30E-20$ ，即組間具有明顯差異，進一步進行 Tukey 多重比較顯示，成體與未成熟個體之捕捉絲數量平均值有極明顯差異 (圖十九)，一齡蜘蛛捕捉絲可多達 38 條 (圖二十、A)，成蛛可能僅剩 4 條 (圖二十、B)。



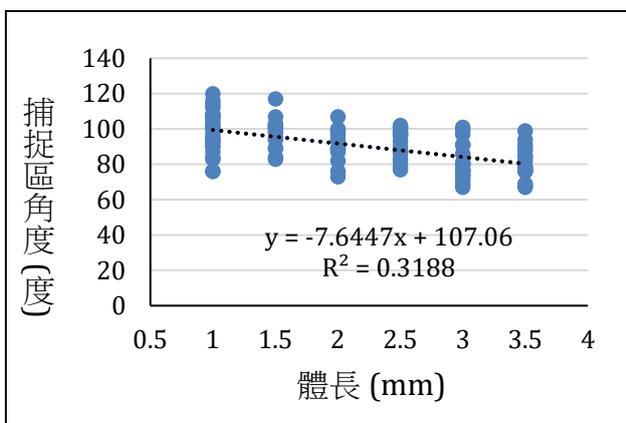


圖二十、A：未成熟個體捕捉絲較多，B：成體捕捉絲較少。

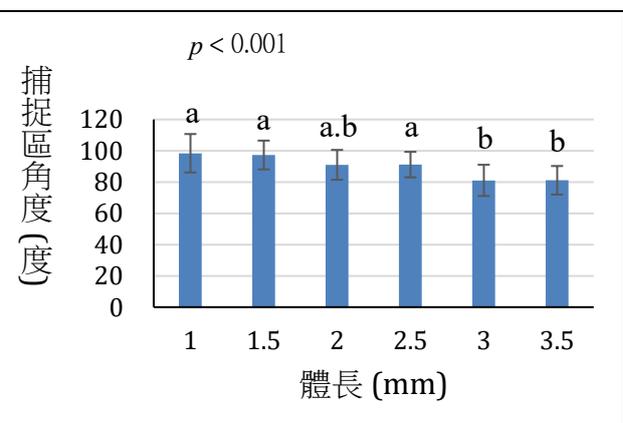
### (六) 齡期與捕捉區角度之關係

體長與捕捉區角度迴歸分析結果顯示，相關係數  $r = 0.56$ ，成中度負相關 (圖二十一)，即隨齡期增加，捕捉區角度越小。

野外調查的 106 隻蜘蛛中，體長 1 mm 組別之捕捉區角度平均值為  $98.39 \pm 12.31$  度 ( $n = 23$ )，體長 1.5 mm 組別之捕捉區角度平均值為  $97.29 \pm 9.21$  度 ( $n = 14$ )，體長 2 mm 組別之捕捉區角度平均值為  $91 \pm 9.54$  度 ( $n = 14$ )，體長 2.5 mm 組別之捕捉區角度平均值為  $91.17 \pm 8.15$  度 ( $n = 18$ )，體長 3 mm 組別之捕捉區角度平均值為  $81.05 \pm 9.98$  度 ( $n = 20$ )，體長 3.5 mm 組別之捕捉區角度平均值為  $81.12 \pm 9.14$  度 ( $n = 17$ )，進行單因子變異數分析結果顯示， $p = 2.91E-08$ ，即組間具有明顯差異，進一步進行 Tukey 多重比較顯示，成體與未成熟個體之捕捉區角度平均值有差異 (圖二十二)。



圖二十一、體長 (齡期) 與捕捉區角度之迴歸趨勢圖 ( $N = 106$ )。

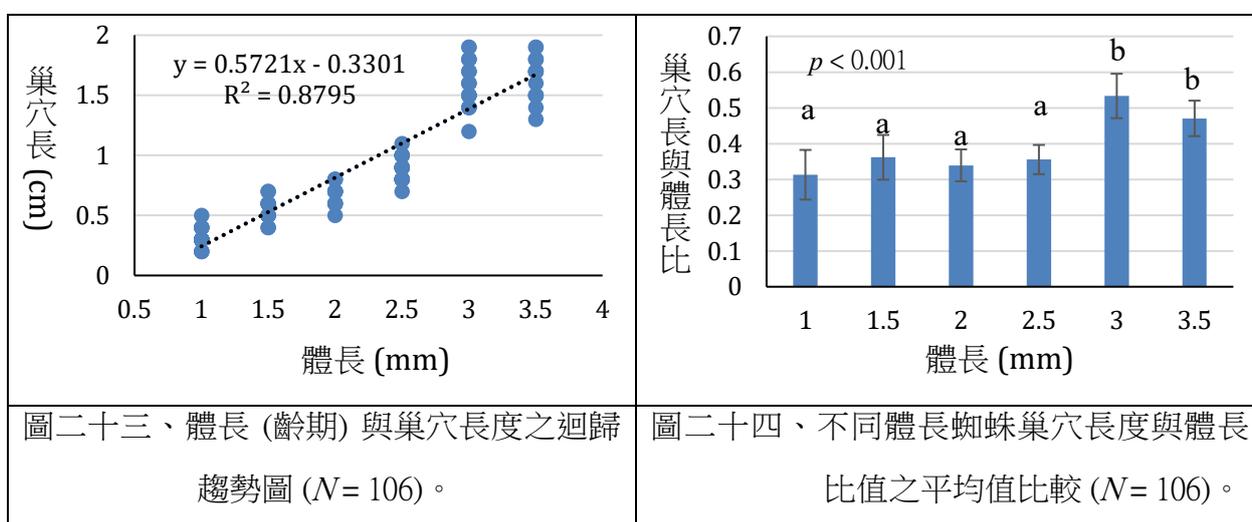


圖二十二、不同體長蜘蛛之捕捉區角度平均值比較 ( $N = 106$ )。

### (七) 齡期與巢長之關係

體長與巢穴長度迴歸分析結果顯示，相關係數  $r = 0.94$ ，成高度正相關 (圖二十三)，即隨齡期增加，蜘蛛鐘型巢穴長度越長。

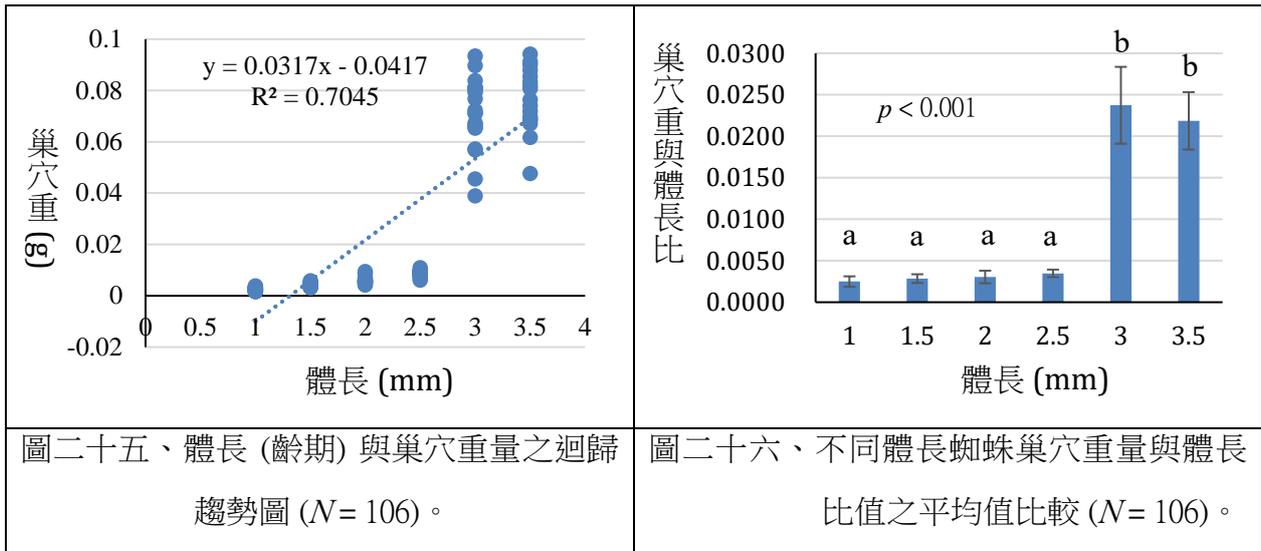
野外調查的 106 隻蜘蛛中，體長 1 mm 組別之巢長與體長之比值的平均值為  $0.31 \pm 0.069$  ( $n = 23$ )，體長 1.5 mm 組別之巢長與體長之比值的平均值為  $0.36 \pm 0.063$  ( $n = 14$ )，體長 2 mm 組別之巢長與體長之比值的平均值為  $0.34 \pm 0.045$  ( $n = 14$ )，體長 2.5 mm 組別之巢長與體長之比值的平均值為  $0.36 \pm 0.041$  ( $n = 18$ )，體長 3 mm 組別之巢長與體長之比值的平均值為  $0.53 \pm 0.062$  ( $n = 20$ )，體長 3.5 mm 組別之巢長與體長之比值的平均值為  $0.47 \pm 0.05$  ( $n = 17$ )，進行單因子變異數分析結果顯示， $p = 6.01E-24$ ，即組間具有明顯差異，進一步進行 Tukey 多重比較顯示，成體之巢長與體長之比值的平均值明顯高於未成熟個體 (圖二十四)。



### (八) 齡期與巢重之關係

體長與巢穴重量迴歸分析結果顯示，相關係數  $r = 0.84$ ，成高度正相關 (圖二十五)，即隨齡期增加，蜘蛛鐘型巢穴重量越重。

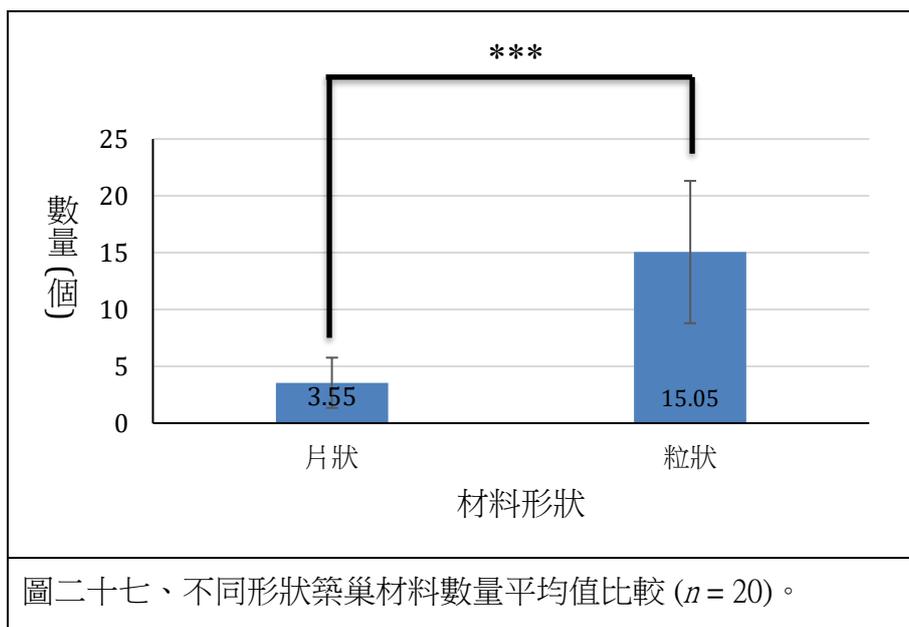
野外調查的 106 隻蜘蛛中，體長 1 mm 組別之巢重與體長之比值的平均值為  $0.0025 \pm 0.0006$  ( $n = 23$ )，體長 1.5 mm 組別之巢重與體長之比值的平均值為  $0.0028 \pm 0.0005$  ( $n = 14$ )，體長 2 mm 組別之巢重與體長之比值的平均值為  $0.003 \pm 0.0008$  ( $n = 14$ )，體長 2.5 mm 組別之巢重與體長之比值的平均值為  $0.0035 \pm 0.0005$  ( $n = 18$ )，體長 3 mm 組別之巢重與體長之比值的平均值為  $0.0237 \pm 0.0046$  ( $n = 20$ )，體長 3.5 mm 組別之巢重與體長之比值的平均值為  $0.0219 \pm 0.0035$  ( $n = 17$ )，進行單因子變異數分析結果顯示， $p = 3.8E-59$ ，即組間具有明顯差異，進一步進行 Tukey 多重比較顯示，成體之巢重與體長之比值的平均值明顯高於未成熟個體 (圖二十六)。



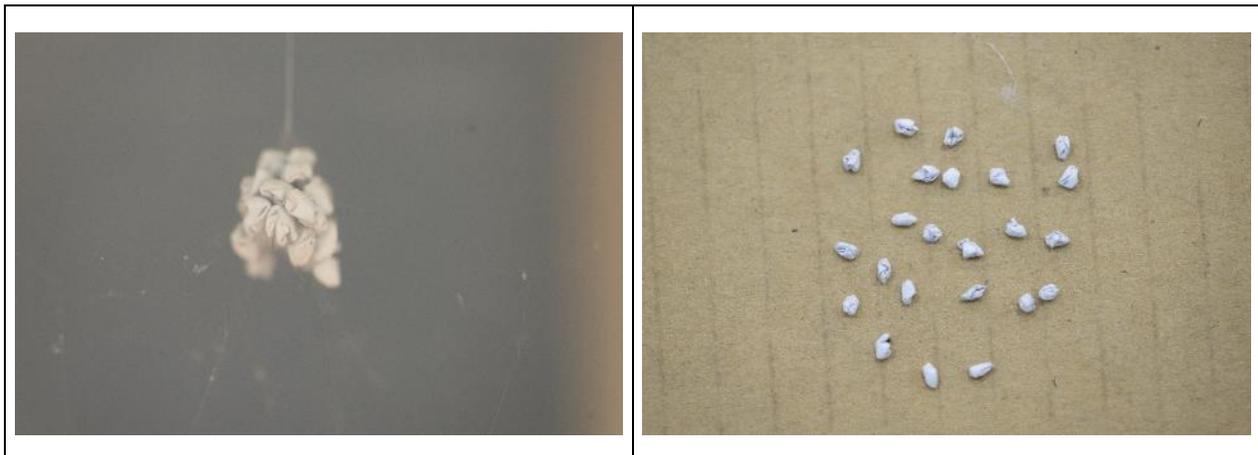
## 實驗二、探討蜘蛛築巢材料之選擇偏好性

### (一) 探討蜘蛛築巢材料形狀之選擇

本實驗共進行 20 隻成蛛築巢材料形狀選擇實驗，20 個鐘型巢穴中，選擇片狀材料數量從 0 - 8 片，平均值為  $3.55 \pm 2.21$  片，占比平均值約為 22%，選擇粒狀材料數量從 4 - 24 顆，平均值為  $15.05 \pm 6.26$  顆，占比平均值約為 78% (圖二十七)， $t$  檢定結果， $p = 5.58E-08$ ，達到  $\alpha = 0.05$  的顯著水準，因此拒絕虛無假設，接受對立假設，表示兩種形狀材料數量平均值具有明顯差異，即蜘蛛明顯偏好選擇粒狀材料進行築巢，甚至有完全以粒狀材料築巢之情況 (圖二十八)。



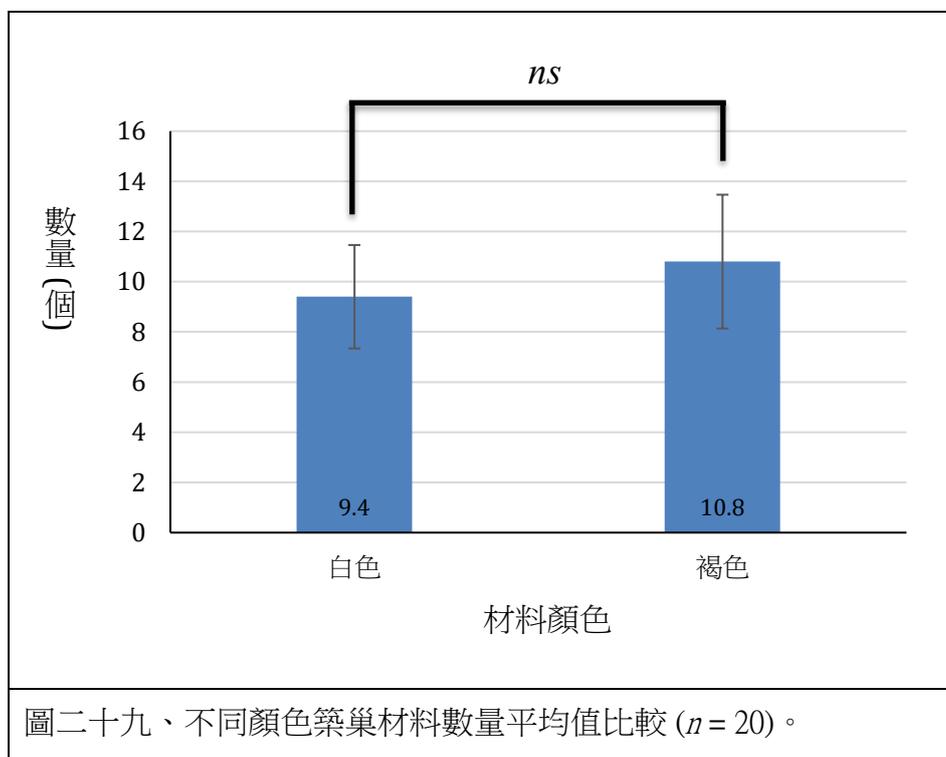
圖二十七、不同形狀築巢材料數量平均值比較 ( $n = 20$ )。



圖二十八、蜘蛛完全選擇粒狀材料築巢。

## (二) 探討蜘蛛築巢材料顏色之選擇

本實驗共進行 20 隻成蛛築巢材料顏色選擇實驗，20 個鐘型巢穴中，選擇白色材料數量為 6 - 13 顆，平均值為  $9.4 \pm 2.06$ ，占比平均值約為 47%，選擇褐色材料數量為 7 - 15 顆，平均值為  $10.8 \pm 2.67$ ，占比平均值約為 53% (圖二十九)， $t$  檢定結果， $p = 0.07$ ，未達  $\alpha = 0.05$  的顯著水準，因此接受虛無假設，表示兩種顏色材料數量平均值無明顯差異，即蜘蛛對築巢材料顏色並無明顯選擇偏好性 (圖三十)。



圖二十九、不同顏色築巢材料數量平均值比較 ( $n = 20$ )。



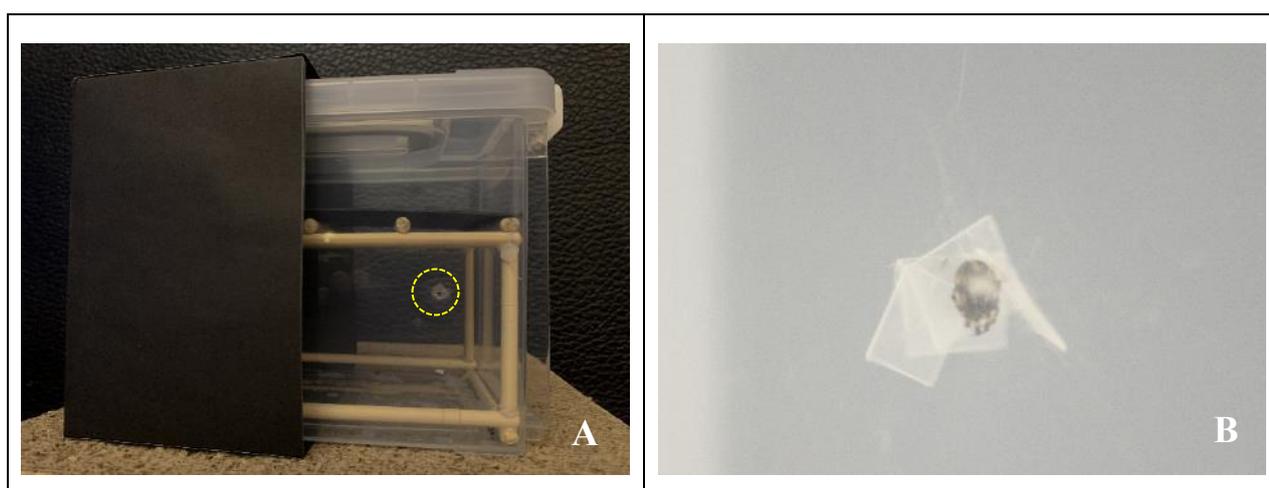
圖三十、蜘蛛對不同顏色築巢材料之選擇比例差異不明顯。

### 實驗三、探討蜘蛛巢穴之功能

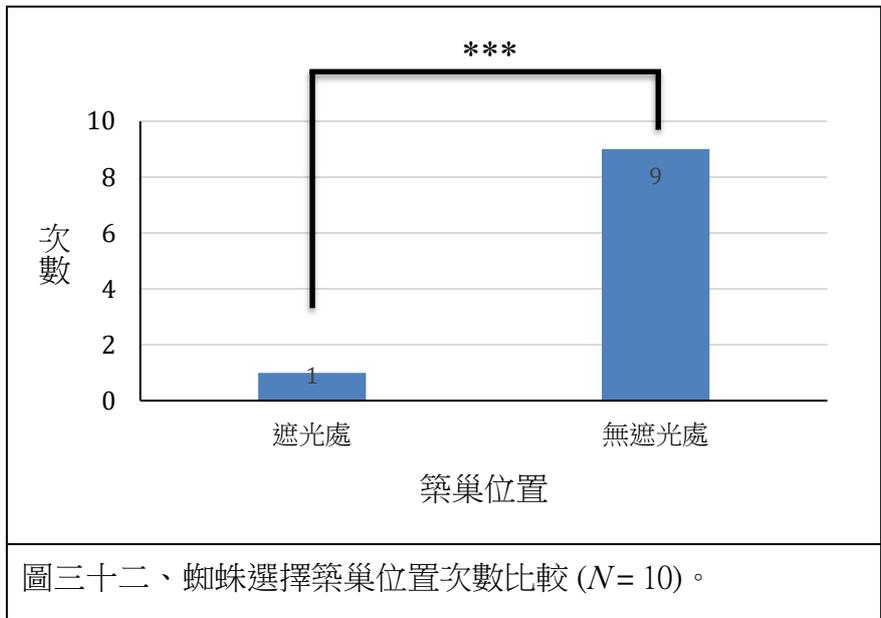
#### (一) 蜘蛛負趨光性之探討

本實驗共進行 10 隻成蛛負趨光性實驗，結果顯示，選擇在無遮光區域以透明膠片築巢之蜘蛛有 9 隻 (圖三十一、A, B)，只有 1 隻蜘蛛移至遮光處結無巢穴之網，經卡方檢定，統計量  $\chi^2 = 12.800$ ， $p$  值 = 0.000，達到  $\alpha = 0.05$  的顯著水準，因此拒絕虛無假設，接受對立假設，表示蜘蛛對不同處理有選擇偏好性，相關係數 Cramer's V 值為 0.800，屬於高度相關 (圖三十二)。

結果呈現蜘蛛並無明顯負趨光性，因此可推測蜘蛛築巢應是為了躲避捕食者更甚於避光。



圖三十一、A：田中吊鐘姬蛛於無遮光區域以透明膠片築巢結網 (黃色虛線圓圈處)，B：蜘蛛躲藏於透明膠片所築透光巢穴中。

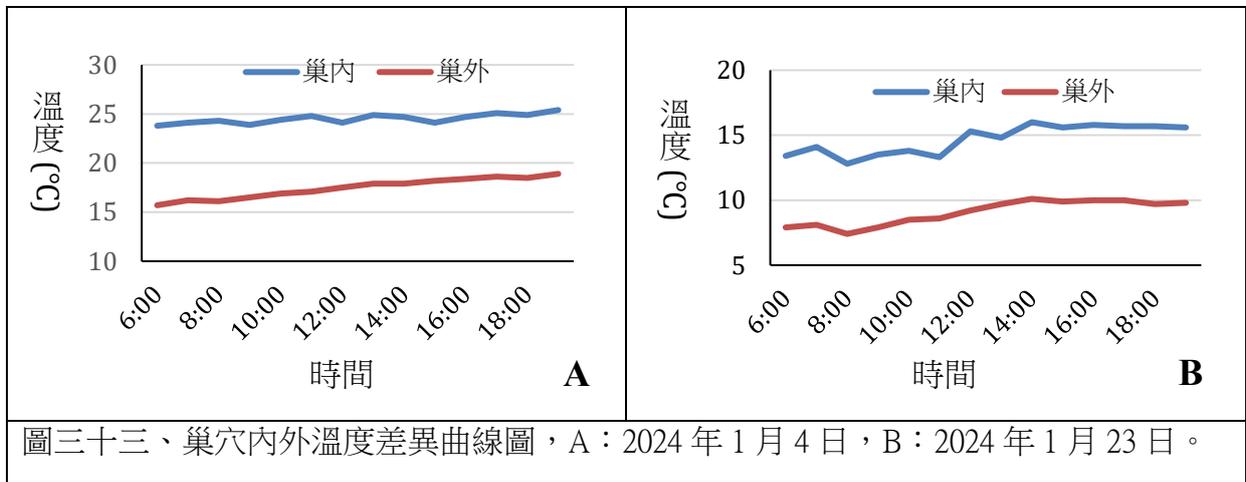


圖三十二、蜘蛛選擇築巢位置次數比較 (N=10)。

## (二) 巢穴對卵孵化天數影響

### 【巢穴內外溫度測量】

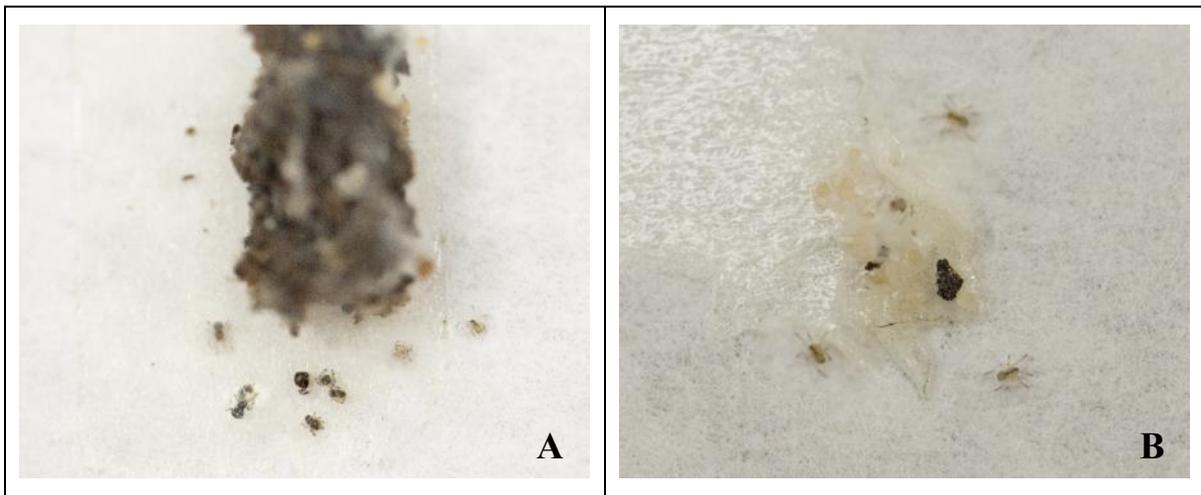
本實驗共測量兩次巢穴內外溫度變化，分別為 2024 年 1 月 4 日及 2024 年 1 月 23 日，測量時間從早上 6 點至晚上 7 點，每小時測量 1 次，結果顯示，巢內外溫度差異約 4.7 - 8.2 °C，平均值為  $6.34 \pm 0.94$  °C (N=28)，巢內溫度明顯高於巢外溫度 (圖三十三)。



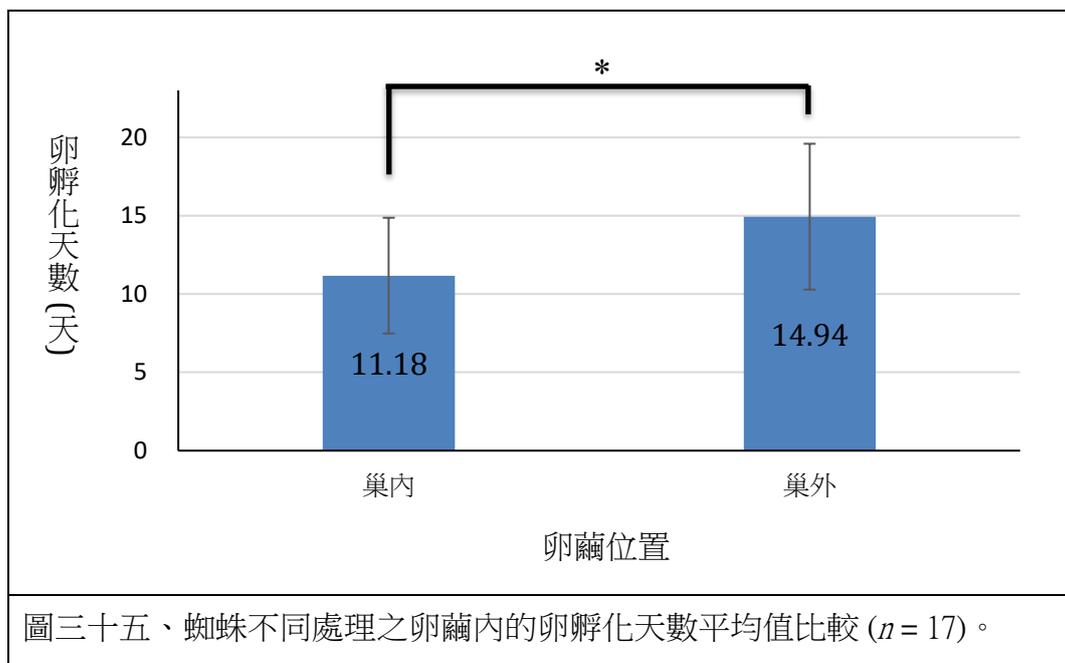
圖三十三、巢穴內外溫度差異曲線圖，A：2024 年 1 月 4 日，B：2024 年 1 月 23 日。

### 【不同位置卵孵化天數實驗】

本實驗共記錄 17 組的卵繭，結果顯示，植入至巢穴中之卵繭的卵孵化天數為 3 - 17 天，平均天數為  $11.18 \pm 3.7$  (圖三十四、A)，而暴露於巢穴外之卵繭的卵孵化天數為 3 - 21 天，平均天數為  $14.94 \pm 4.66$  (圖三十四、B)，*t* 檢定結果顯示， $p = 0.014$ ，達到  $\alpha = 0.05$  的顯著水準，因此拒絕虛無假設，接受對立假設，兩者卵孵化天數平均值具有明顯差異 (圖三十五)，即位於巢穴內之卵孵化天數比暴露於巢穴外的卵孵化天數明顯較少。



圖三十四、不同處理之卵孵化，A：巢穴內之卵繭內的卵孵化，B：暴露於巢穴外之卵繭的卵孵化。



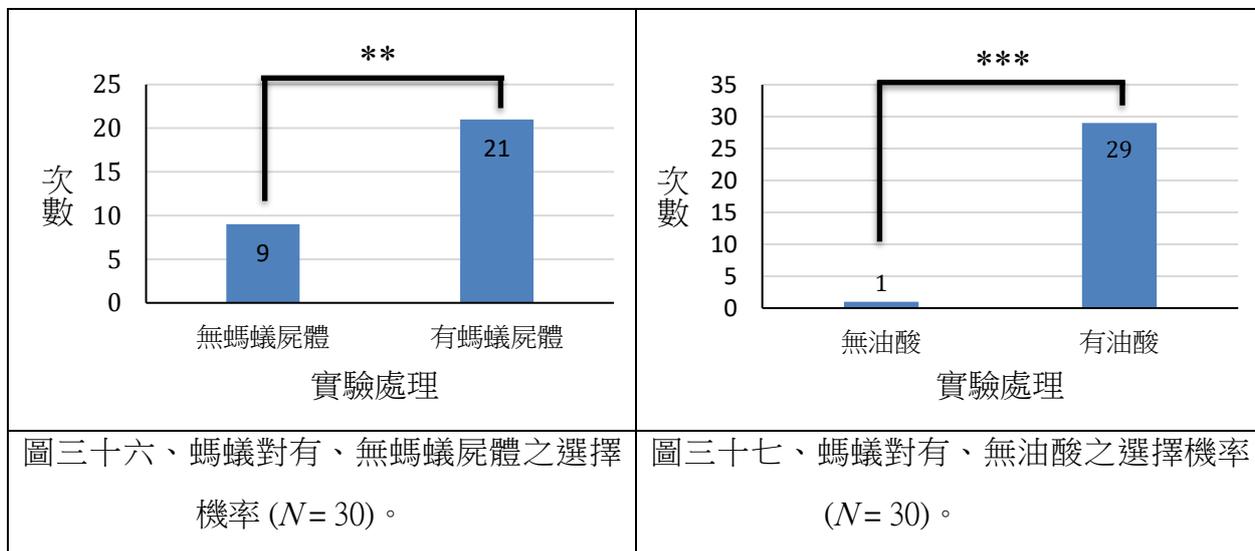
圖三十五、蜘蛛不同處理之卵繭內的卵孵化天數平均值比較 ( $n = 17$ )。

#### 實驗四、探討蜘蛛巢穴上螞蟻屍體之功能

##### (一) 探討巢穴上螞蟻屍體是否具吸引其他螞蟻之效果

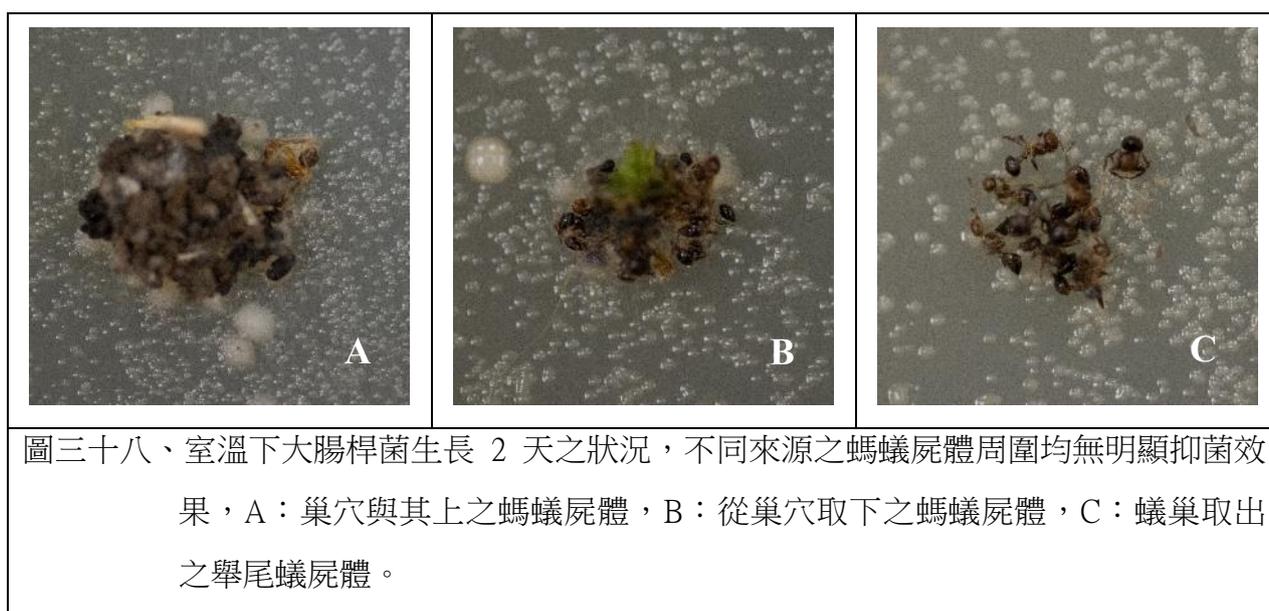
1. 有無螞蟻屍體的 30 次選擇實驗結果顯示，選擇有螞蟻屍體的方向有 21 次，選擇無螞蟻屍體的方向有 9 次，卡方檢定統計量  $\chi^2 = 9.600$ ， $p$  值 = 0.002，達到  $\alpha = 0.05$  的顯著水準，因此拒絕虛無假設，接受對立假設，相關係數 Cramer's V 值為 0.400，屬於低度相關，表示螞蟻明顯偏好選擇有螞蟻屍體之方向 (圖三十六)。

2. 有無油酸的 30 次選擇實驗結果顯示，選擇有油酸的方向有 29 次，選擇無油酸的方向有 1 次，卡方檢定統計量  $\chi^2 = 52.267$ ， $p$  值 = 0.000，達到  $\alpha = 0.05$  的顯著水準，因此拒絕虛無假設，接受對立假設，相關係數 Cramer's V 值為 0.933，屬於高度相關，表示螞蟻明顯偏好選擇有油酸之方向 (圖三十七)。



## (二) 探討巢穴上螞蟻屍體是否具抑菌效果

本實驗結果顯示，大腸桿菌塗盤上無論是放入具有螞蟻屍體之蜘蛛巢穴 (圖三十八、A)，或是單獨放入從蜘蛛巢穴上取下之螞蟻屍體 (圖三十八、B)，還是放入從野外採回實驗室飼養之舉尾蟻屍體 (圖三十八、C)，經過 2 天室溫下培養後，細菌塗盤上所有螞蟻屍體周圍都無抑菌環產生，代表螞蟻屍體並無抑菌效果。



## 伍、討論

### 一、田中吊鐘姬蛛生活史過程中的能量權衡

根據生活史對策中能量分配原則，生物在有限的資源下，對於投資能量於維持生長與生殖的各種過程中必定發生權衡現象 (Nespolo et al., 2008； Garland et al., 2022)，在蜘蛛身上亦是如此，尤其吊鐘姬蛛會結鐘型巢穴，此種巢穴被認為很大的功能是用於防禦、育幼，在有限能量之下，吊鐘姬蛛需在捕食與防禦、育幼的投資上做出權衡，關於吊鐘姬蛛成體，前人的研究發現給予 *Campanicola campanulata* 不同餵食程度會影響蜘蛛的能量分配，因為成體不須再花過多能量在成長蛻皮上，所以餵食過量時會因為能量較充足而以防禦的能量投資為主，如所結的鐘型巢穴相對較大，減少捕捉絲量的數量，因為此時生殖、育幼才是成體的重要工作 (Zhang et al., 2022)，而當給予 *Campanicola campanulata* 成體不同重量材料築巢時，蜘蛛會選擇較輕的材料來築鐘型巢穴，因為在所築巢穴相同大小之下，重量相對會較輕，如此可將更多能量投資在捕食上，如織較多的捕捉絲，增加捕食成功機會 (Zhang et al., 2023)。但是吊鐘蜘蛛從卵孵出後一直到成體到底會如何進行其能量投資之分配，是有趣的問題。

本研究發現野外的田中吊鐘姬蛛剛孵化時幼蛛約 1 mm，野外測量到的蜘蛛體長約從 1 mm - 3.5 mm，約略可以 0.5 mm 為一個區間分成 6 組，但蜘蛛體長 3 mm 後即可觀察到明顯外雌器，即達到性成熟，所以，若按照一般小型蜘蛛一生約蛻皮 4 - 5 次，我們推測，每蛻皮一次體長約增加 0.5 mm，即一齡蜘蛛約 1mm，二齡蜘蛛約 1.5 mm，三齡蜘蛛約 2 mm，四齡蜘蛛約 2.5 mm，五齡蜘蛛約 3 - 3.5 mm，體長 3 mm 以上均可發現明顯外雌器，即達性成熟，故全歸類為第五齡之成體，且在野外調查中採集的巢穴中均為雌性個體，推測雄性可能在亞成體時就不結網而開始尋找交配對象。

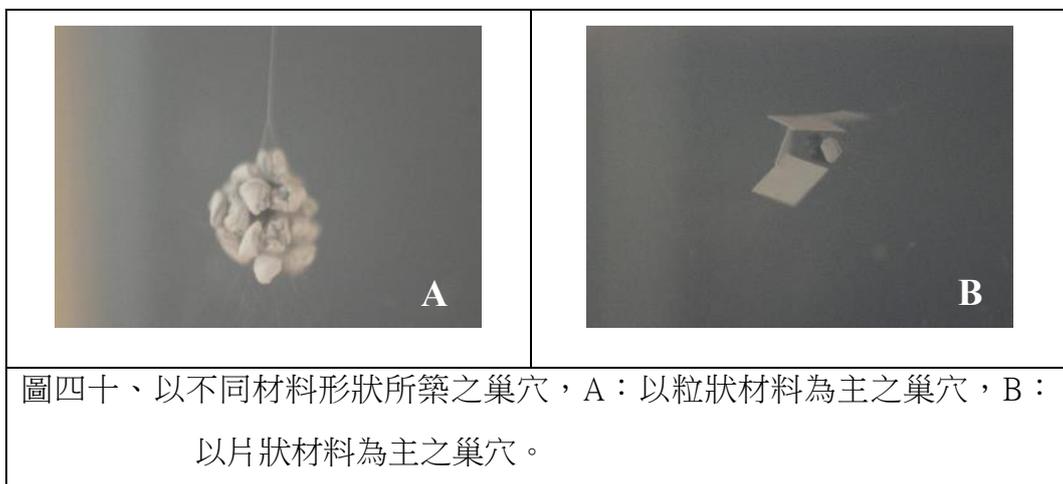
從野外調查結果發現，未成熟個體主要將能量投資在捕食上，如捕捉絲數量相對較多，捕捉區角度也明顯較成體的大，增加捕食成功的機會，另外，未成熟個體的鐘型巢穴通常離地面較近，方便巢穴中的蜘蛛可以快速到達地面將被捕捉絲纏住的獵物制服拖回巢中，如此可節省來回的能量，但卻增加容易受到其他捕食者侵入的風險，而成體則明顯將能量投資於生殖及防禦上，例如，築較大的鐘型巢穴，用於禦敵或育幼，但捕食能量的投資明顯較少，因為成體後不再蛻皮，如捕捉區角度較小，捕捉絲數量相對減少，因為此階段個體生長所需能量較少，甚至部分已有卵繭的個體會將捕捉絲完全切斷 (圖三十九)，因為此時成蛛基本上都躲在巢穴中護幼，不再進食，另外，成體明顯增加鐘型巢穴到地面的距離，如此可減少其他捕食者侵入機會。



圖三十九、蜘蛛成體將捕捉絲全部切斷。

## 二、田中吊鐘姬蛛對築巢材料形狀是否具有選擇偏好性

中華民國第 46 屆中小學科學展覽會中有一件作品針對吊鐘姬蛛築巢材料選擇實驗中提到，在混合片狀和顆粒狀材料的情況下，蜘蛛對片狀材料的選擇能力較強 (陳、范，2006)，由於其所用之片狀材料為紙片、木屑、鉛筆屑、塑膠袋碎片，而顆粒狀材料為冰糖顆粒，我們推測冰糖顆粒過重，所以蜘蛛較不選擇，且每次實驗是同時放入 3 - 5 隻的蜘蛛到飼養箱，在小空間的飼養箱中有可能互相干擾結網築巢，所以我們統一片狀及粒狀材料重量，且每次實驗紙放 1 隻蜘蛛，結果發現田中吊鐘姬蛛明顯偏好以粒狀之紙球來築巢，而較少以片狀之紙片來築巢，這與野外觀察到的現象吻合，而且以粒狀材料為主要築巢材料時，蜘蛛所築的巢穴比較完整與野外巢穴形狀較吻合，且材料數量較多，可多達 28 顆 (圖四十、A)，但以片狀材料為主要築巢材料時，巢穴形狀較不完整，縫隙多，且材料數量較少，約 4 - 5 片 (圖四十、B)，所以我們推測田中吊鐘姬蛛偏好選擇粒狀材料築巢可能是因為較能築出完整密合的鐘型巢穴方便避敵或避光。



圖四十、以不同材料形狀所築之巢穴，A：以粒狀材料為主之巢穴，B：以片狀材料為主之巢穴。

### 三、田中吊鐘姬蛛對築巢材料顏色是否具有選擇偏好性

陳椀棧與范世諭在 2006 年科展實驗中以均勻分散的色紙片當作蜘蛛築巢材料進行選擇實驗，發現蜘蛛對黃色紙片較敏感，而當只有紅色和綠色兩種紙片時，蜘蛛較喜歡用紅色紙片來築巢，當只有綠色和黃色紙片時，蜘蛛較喜歡用黃色的紙片來築巢，而對於藍色和紅色的紙片，蜘蛛喜歡用藍色的紙片來築巢，此實驗同樣是每次同時放入 3-5 隻蜘蛛，如此還是可能互相干擾，造成蜘蛛被排擠到特定顏色材料附近，造成實驗誤差。

很多研究認為蜘蛛築巢是為了避敵，若巢穴顏色能與周遭環境色接近將更能減少被捕食者發現之機會，我們假設田中吊鐘姬蛛具有辨色能力，於是製作與野外田中吊鐘姬蛛巢穴相同顏色之紙片揉成粒狀，另外準備相同重量之白色粒狀紙球，將兩種顏色粒狀材料均勻擺放，並且一次只放入 1 隻蜘蛛，且讓飼養箱在陰暗處，看蜘蛛是否會選擇配合環境暗色的褐色紙球當築巢材料，結果發現田中吊鐘姬蛛築巢時對材料顏色並無特別選擇偏好性。

### 四、田中吊鐘姬蛛是否具負趨光性

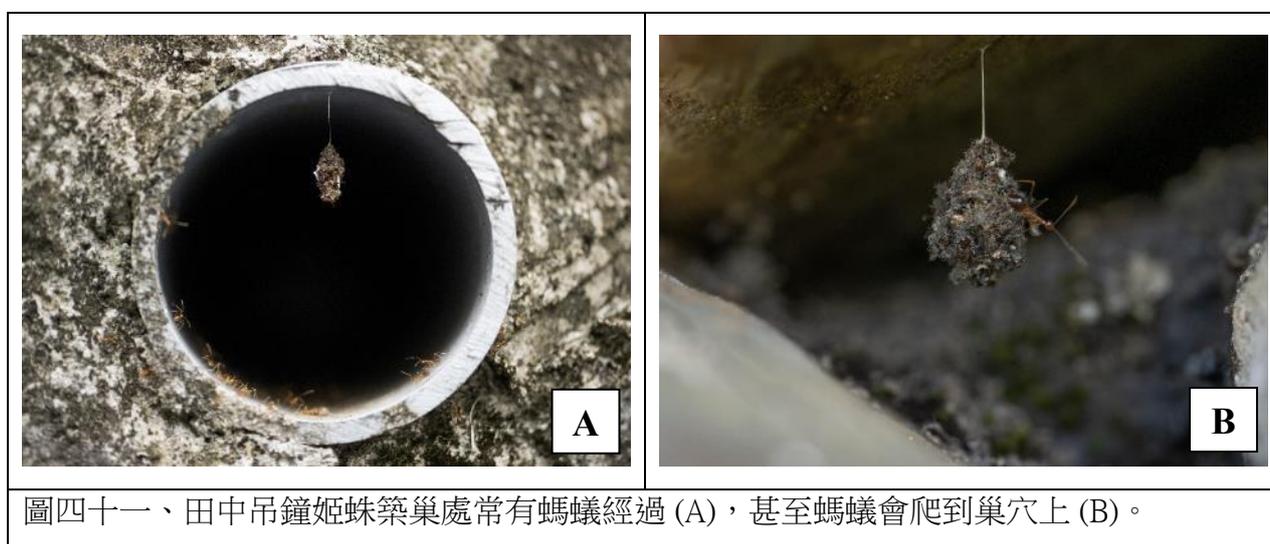
田中吊鐘姬蛛結鐘型巢穴到底是因為其怕光，還是只是為了躲避敵害，我們設計利用透明護貝膠膜切割成相同大小的築巢材料，將其擺放在飼養箱一半邊，並且將無擺放築巢材料之半邊以黑色紙盒套住，遮光區與無遮光區底部以 5 cm 的紙板隔開，但是上半部連通，蜘蛛可以自由在兩區移動，但底部之築巢材料不能拖行至遮光區，結果顯示，蜘蛛明顯偏好在無遮光區以透明膠片築巢，但此巢穴完全透光，若田中吊鐘姬蛛怕光，應該會移至遮光區，而不是在無遮光環境結網築透明的鐘型巢穴，故我們推測，田中吊鐘姬蛛無負趨光性，其結巢只是與一般認為的是為了躲避敵害。

### 五、田中吊鐘姬蛛巢穴對卵孵化天數之影響

由於野外實驗過程中發現，田中吊鐘姬蛛巢穴內的溫度與巢外有差異，於是我們將蜘蛛巢穴帶回家，將其放在戶外陽台，每小時測一次巢內外溫度，甚至利用寒流來時測量，結果發現蜘蛛巢穴內溫度明顯高過巢外溫度約 6 °C，蜘蛛的卵對低溫耐受性不強，氣溫過低，容易造成孵化不易 (Humphreys, 1978)，而有學者研究過沙漠的一種狼蛛會在地上挖洞，洞內可使溫度及濕度變化不會過大 (Steves et al., 2021)，因此我們將同一巢穴的兩個卵繭置放於不同環境，一個移入巢內，一個暴露於巢外，實驗結果明顯可見放置於巢穴中的卵繭其內的卵孵化天數較短，故我們證明蜘蛛鐘型巢穴不只可以躲避敵害還能使卵不至於暴露在低溫中，可以增加孵化成功機率。

## 六、巢穴上螞蟻屍體是否具吸引其他螞蟻之效果

田中吊鐘姬蛛主要獵物為螞蟻，且蜘蛛在吸食完螞蟻後會將螞蟻屍體黏附在巢穴入口處，這引發我們好奇，到底巢穴上螞蟻功用為何，由於野外觀察過程中，很常看到田中吊鐘姬蛛結網築巢處下方附近有螞蟻族群通過 (圖四十一、A)，甚至螞蟻會爬上蜘蛛鐘型巢穴 (圖四十一、B)，網路常提到螞蟻死亡後會釋放死亡費洛蒙，引發其他螞蟻將其搬離，在我們的前測也觀察到將死亡的螞蟻屍體放在我們飼養的螞蟻巢穴時，螞蟻會引起騷動並將其搬離，即使是不同種，故我們懷疑吊鐘姬蛛將螞蟻屍體黏附在巢穴之目的是為了吸引其他螞蟻接近，以增加捕獲螞蟻之機率，於是我們利用迷宮實驗，結果的確顯示選擇有螞蟻屍體的方向次數明顯多於選擇無螞蟻屍體方向之次數，故田中吊鐘姬蛛將螞蟻屍體黏附在鐘型巢穴朝口附近可吸引其他螞蟻靠近，增加捕食到螞蟻之機會。



圖四十一、田中吊鐘姬蛛築巢處常有螞蟻經過 (A)，甚至螞蟻會爬到巢穴上 (B)。

另外有文章提到社會性昆蟲包含螞蟻的死亡費洛蒙的成分可能是油酸 (McAfee et al., 2018)，我們前測將油酸沾附在螞蟻身上，再將其放入蟻巢中，發現人工蟻巢中螞蟻比起直接放入螞蟻屍體時來的反應更大，馬上靠近攻擊，並且搬離，所以我們再以有、無油酸進行迷宮實驗，結果顯示，螞蟻幾乎都往有油酸方向移動，故死亡費洛蒙的成分的確與油酸有關，且此物質濃度可能是吸引其他螞蟻靠近的很大關鍵。

## 七、巢穴上螞蟻屍體是否具抑菌效果

有研究發現從某些螞蟻身上的萃取物對革蘭氏陰性菌株如肺炎克雷伯菌和銅綠假單胞菌和革蘭氏陽性菌株如枯草芽孢桿菌和金黃色葡萄球菌具有不同程度的生長抑制活性 (Matiz-Melo & Osorio, 2013)，因此引發我們想驗證田中吊鐘姬蛛將螞蟻屍體黏附在巢穴上是否也具

有抑菌效果，防止巢穴內細菌的繁殖，我們並不是經過萃取螞蟻屍體上的物質來塗抹在大腸桿菌培養基塗盤上，而是模擬野外實際狀況，直接將蜘蛛巢穴上取下之螞蟻屍體或螞蟻巢中取出螞蟻殺死後放在大腸桿菌培養基塗盤上，但實驗結果均顯示螞蟻屍體旁並無明顯抑菌環，這部分需更進一步探究。

【註】本說明書中所有照片及圖表均由本研究之指導教師或作者拍攝及繪製。

## 陸、結論

- 一、田中吊鐘姬蛛在生活史過程中能量投資的分配上明顯發生權衡現象，隨著齡期的增加，蜘蛛在捕獵上的能量投資逐漸減少，例如，捕捉絲的數量逐漸減少，而且捕捉絲形成的捕捉區角度逐漸減小，相對隨著齡期的增加，蜘蛛在防禦與生殖上的能量投資逐漸增加，例如，鐘型巢穴的長度及重量逐漸增加，尤其達到成體即性成熟後巢穴長度及重量明顯增加。未成熟個體主要將能量花費在捕食上，成體後明顯將能量之投資轉移到防禦上。另外，未成熟個體的鐘型巢穴通常離地面較近，較易到達地面將被捕捉絲纏住的獵物制服，成體則明顯增加鐘型巢穴到地面的距離，可減少其他捕食者侵入機會。
- 二、田中吊鐘姬蛛偏好以粒狀之紙球來築巢，較少以片狀之紙片來築巢，以粒狀材料為築巢材料，蜘蛛所築的巢穴比較完整，但以片狀材料為築巢材料時，巢穴形狀不完整，縫隙較多。
- 三、田中吊鐘姬蛛築巢時對材料顏色並無特別選擇偏好性。
- 四、田中吊鐘姬蛛結網時寧可以透明材料築巢躲藏，而不移至暗處結網，可見田中吊鐘姬蛛不怕光，即不具負趨光性，築鐘型巢穴躲藏應是為了避敵。
- 五、田中吊鐘姬蛛之鐘型巢穴有保溫效果，可減少蛛卵孵化所需天數。
- 六、田中吊鐘姬蛛將螞蟻屍體黏附在巢穴上，經迷宮實驗結果顯示，螞蟻明顯偏好選擇往有螞蟻屍體方向移動，若以認為是死亡費洛蒙主要成分的油酸之有無來進行迷宮實驗，螞

蟻更是明顯選擇往有油酸方向移動，故推測田中吊鐘姬蛛巢穴上黏附之螞蟻屍體具有吸引其他螞蟻靠近的功能，而油酸的確可能是死亡費洛蒙之成分。

七、無論是蜘蛛巢穴上之螞蟻屍體或直接螞蟻巢中獲取的螞蟻屍體置於大腸桿菌培養基塗盤上，螞蟻屍體周圍均無抑菌環產生，即鐘型巢穴上之螞蟻屍體應無抑菌效果。

## 柒、參考文獻資料

- 一、Garland Jr. T., Cynthia J Downs, C. J. & , Ives, A. R. (2022). Trade-Offs (and Constraints) in Organismal Biology. *Physiological and Biochemical Zoology*, 95 (1), 82-112. doi: 10.1086/717897
- 二、Humphreys W. F. (1978). The thermal biology of *Geolycosa godeffroyi* and other burrow inhabiting Lycosidae (Araneae) in Australia. *Oecologia*, 31, 319 - 347.
- 三、Matiz-Melo, G. E. & Osorio, M. (2013). Antibacterial activity extracts of the ant genera *Crematogaster* and *Solenopsis*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*, 42 (1), 42-55.
- 四、McAfee, A., Chapman, A., Iovinella, I., Gallagher-Kurtzke, Y., Collins, T. F., Higo, H., Madilao, L. L., Pelosi, P. & Foster, L. J. (2018). A death pheromone, oleic acid, triggers hygienic behavior in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Scientific reports*, 8: 5719. doi:10.1038/s41598-018-24054-2
- 五、Nespolo, R. F., Roff, D. A., & Fairbairn, D. J. (2008). Energetic trade-off between maintenance costs and flight capacity in the sand cricket (*Gryllus firmus*). *Functional Ecology*, 22, 624 - 631. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01394.x
- 六、Steves, I., Berliner, P., & Pinshow, B. (2021). Air Temperature and Humidity at the Bottom of Desert Wolf Spider Burrows Are Not Affected by Surface Conditions. *Insects*, 12 (10), 943. doi.org/10.3390/insects12100943
- 七、Zhang, H., Li, G., Li, C., Chen, J., Zhao, Z., Zhang, S., & Liu, J. (2022). Feeding mediated web-building plasticity in a cobweb spider. *Current Zoology*, 69 (6), 756 - 765. doi: 10.1093/cz/zoac077
- 八、Zhang, H., Wen, L., Li, Z., & Li, C. (2023). Economic web-building behavior and behavioral

investment trade-offs in a cobweb spider. *Frontiers in Ecology and Evolution*. doi: 10.3389/fevo.2023.1164310

九、陳婉菱、范世諭 (2006)。吊鐘姬蜘蛛的空中閣樓。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。

十、黃俞銘 (2023)。台灣吊鐘姬蜘蛛分類及其築巢行為演化。國立中興大學生命科學所碩士論文，台中市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/ct5s47>

## 【評語】 030304

本研究探討田中吊鐘姬蛛在不同齡期的能量分配、築巢材料選擇及巢穴功能，內容豐富且探究細緻，但多處與前人研究重複，創新性不足。結果發現隨齡期增加，捕食能量投入減少而防禦能量增加；蜘蛛偏好粒狀材料築巢，巢穴對卵的孵化有保溫效果，且螞蟻屍體能吸引其他螞蟻。

正面評價方面，此主題有趣，結合生態學和行為學方法，實驗設計合理，數據收集和分析細緻，報告結構清晰，圖表輔助良好。

負面評價方面，研究缺乏顯著性檢驗，部分實驗組樣本量偏少，對權衡現象的敘述不夠準確，缺乏與其他相關研究的比較分析，影響結論的科學性。

建議增加樣本量和顯著性檢驗，同時強化文獻比較分析，明確權衡因子設定依據，深入探討築巢形狀和顏色選擇的生理意義。

一般建議：

1. 能量分配的權衡因子設定不明確，應增加理論依據以支持這些設定的正確性。

2. 筑巢形狀及顏色選擇偏好的實驗設計良好，但需要確認蜘蛛是否能區分這些顏色，建議參考相關研究報導。
3. 未來可以挑選一個具體研究方向進行深入探討和驗證，這樣能使研究更加聚焦和深入。
4. 年齡和體型對巢穴大小與長度的影響值得進一步探討，建議深入研究其原因及對個體的影響。

#### 研究發展建議：

1. 增加對能量分配的權衡因子設定的理論依據，確保實驗設計的科學性和合理性。
2. 進一步研究蜘蛛對顏色的辨識能力，確認其是否能區分實驗中使用的顏色，從而提高實驗設計的嚴謹性。
3. 增加對不同年齡和體型個體築巢行為的深入研究，探討其對巢穴大小和形狀的影響及背後原因。
4. 探索巢內外溫度差異的原因，研究其對保溫效果的影響，這將有助於材料或結構的應用研究。

5. 在數據分析中增加顯著性檢驗（如 p 值），以增強研究結果的可信度和科學性。
6. 增加與其他相關研究的對比分析，強化結果的廣泛性和科學性。
7. 探討蜘蛛在不同環境條件下的築巢行為和能量分配策略，研究其適應環境的機制，這將有助於生態學和行為學的深入理解。

總結來說，此研究在蜘蛛築巢行為和能量分配策略方面具學術價值，但需改進實驗設計和數據分析，以進一步驗證效果和應用潛力。

## 作品簡報

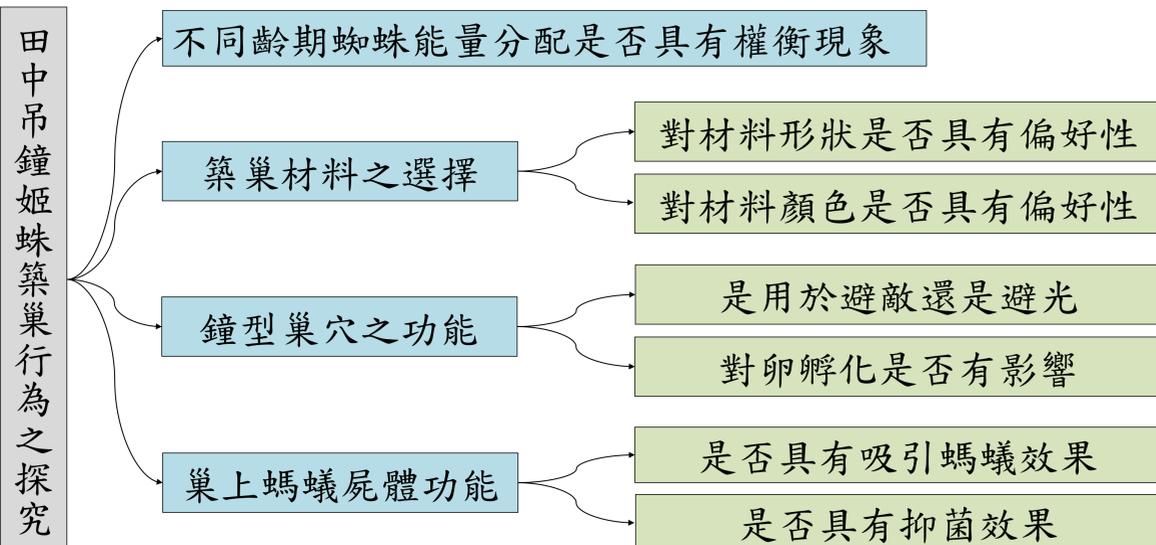
田中吊鐘姬蛛築巢行為之探究

## 研究動機

- 前人曾以吊鐘蜘蛛成體為研究對象，發現在不同餵食程度或給予不同重量築巢材料時，能量具有權衡現象〔4,5〕。  
本研究想了解田中吊鐘蜘蛛從幼體到成體是否發生能量權衡？若有，能量如何分配？
- 野外蜘蛛鐘型巢穴材料之形狀及顏色有所差異，蜘蛛對築巢材料之形狀及顏色是否具有選擇偏好性？
- 吊鐘蜘蛛築如此複雜的鐘型巢穴之目的為何？
- 巢穴入口附近常會黏附許多蜘蛛食用後之螞蟻屍體，其功能為何？

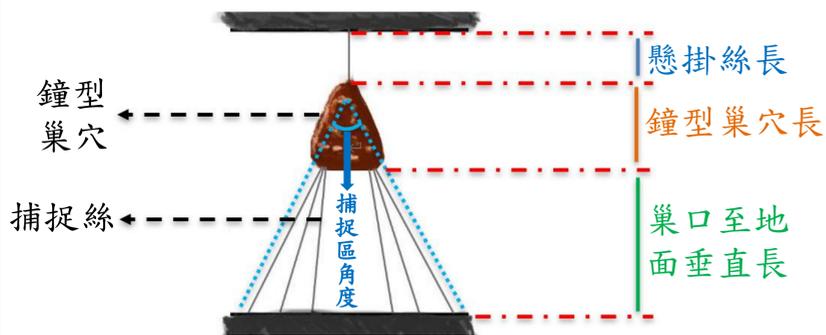


## 研究目的



## 研究過程與方法

### 實驗一、探討蜘蛛不同齡期能量投資之權衡



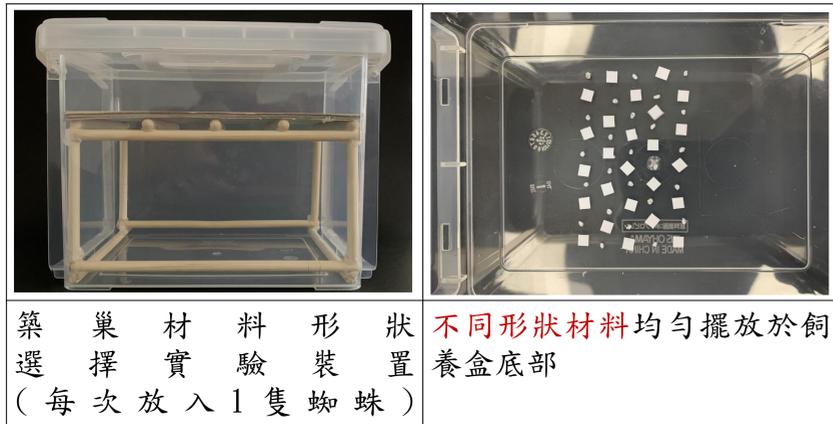
針對下列因子進行測量：

- 性別、體長、卵繭數目、懸掛絲長度、巢口至地面垂直長度。
- 捕食相關能量投資因子：捕捉絲數量、捕捉區角度。
- 防禦相關能量投資因子：鐘型巢穴重量、鐘型巢穴長度。

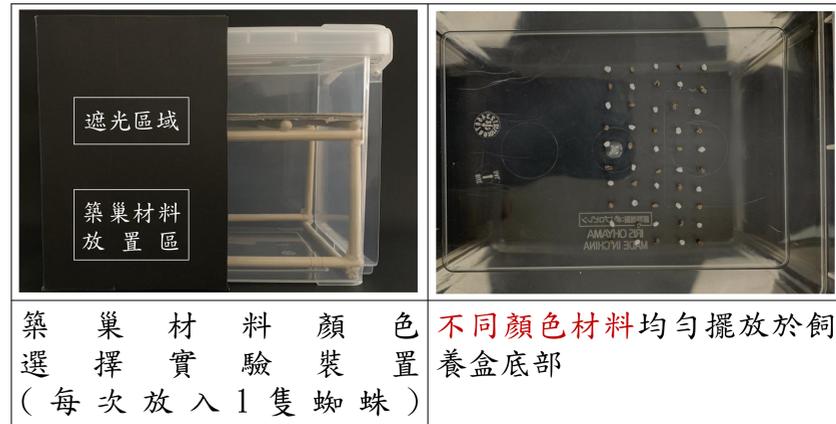
數據統計分析

### 實驗二、探討蜘蛛築巢材料之選擇偏好性

#### (一) 築巢材料形狀之選擇偏好性



#### (二) 築巢材料顏色之選擇偏好性

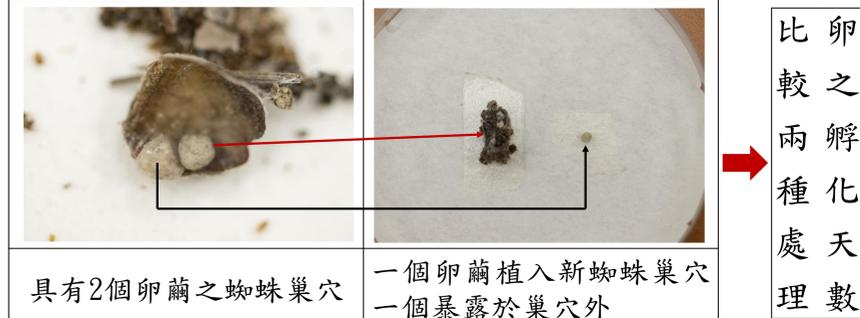


### 實驗三、探討蜘蛛巢穴之功能

#### (一) 蜘蛛是否具負趨光性

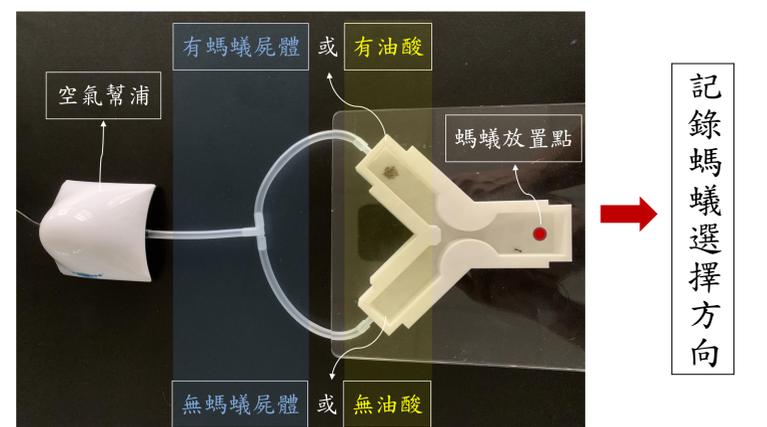


#### (二) 巢穴對卵孵化天數之影響

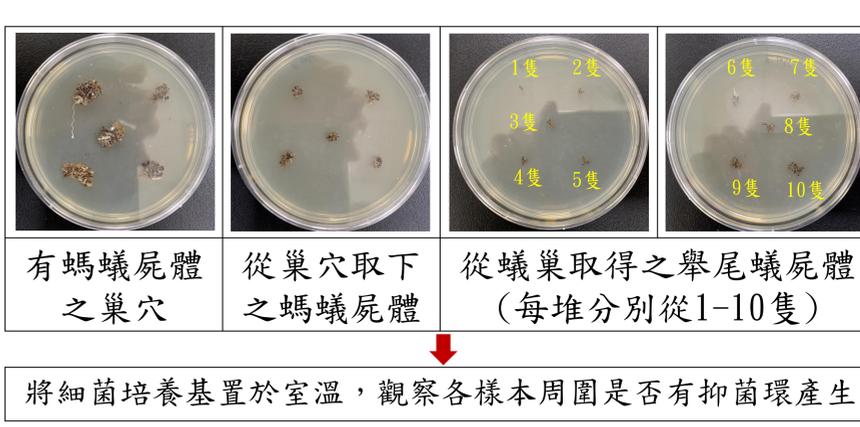


### 實驗四、探討蜘蛛巢穴上螞蟻屍體之功能

#### (一) 螞蟻屍體是否具吸引其他螞蟻之效果



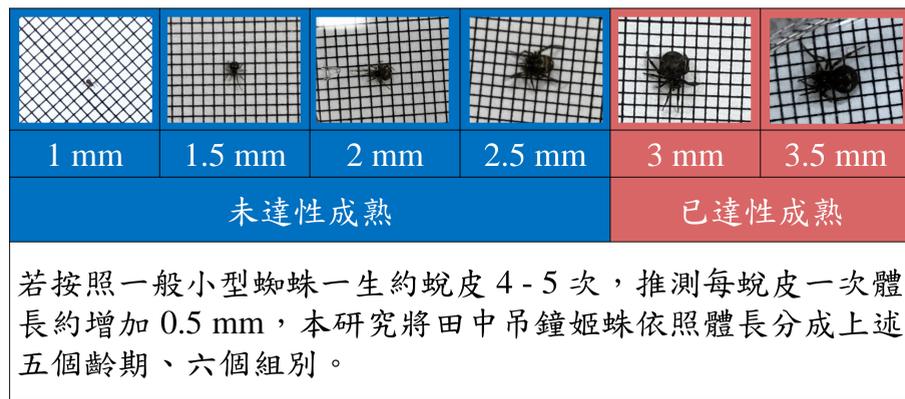
#### (二) 螞蟻屍體是否具抑菌效果



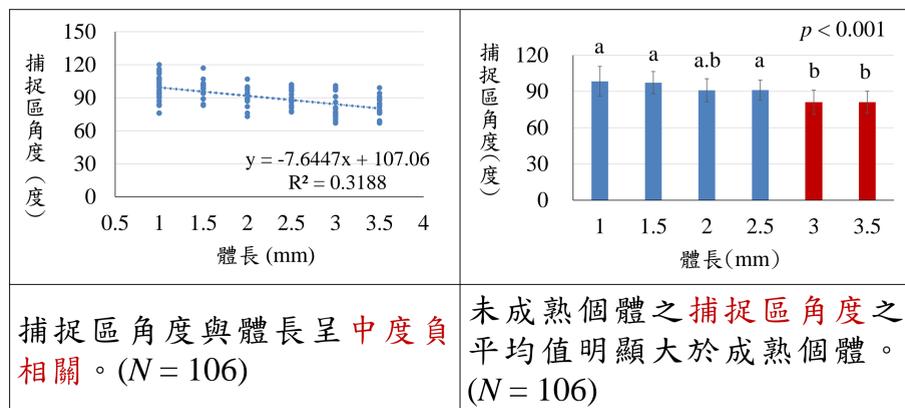
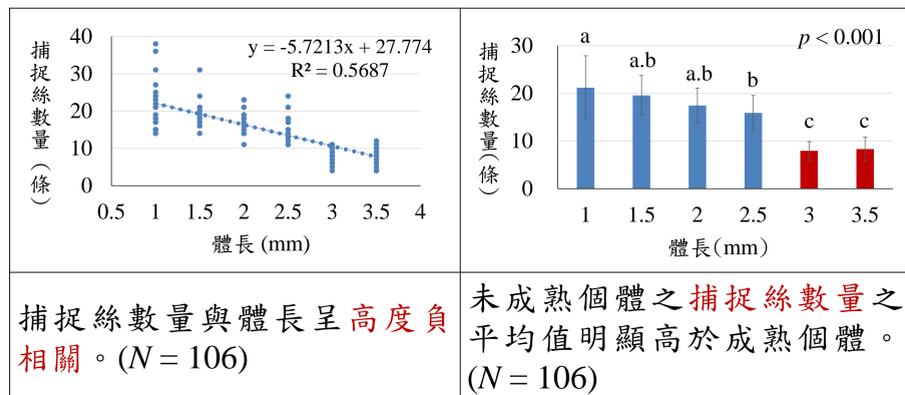
# 研究結果

## 實驗一、探討蜘蛛不同齡期能量投資之權衡

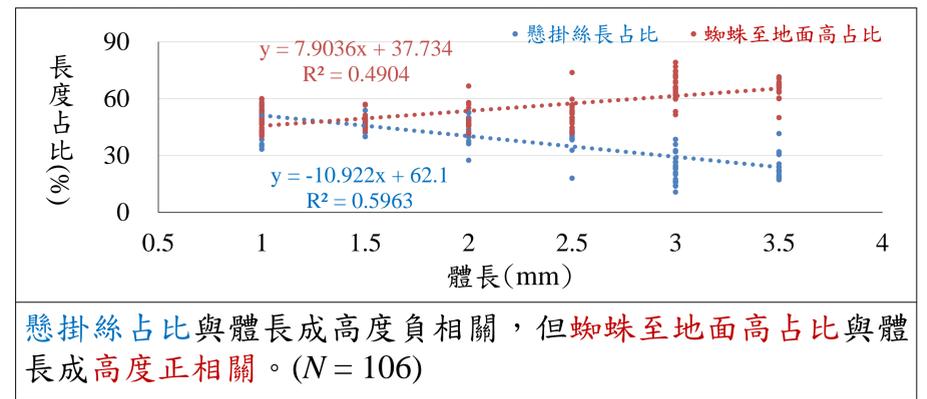
### (一)體長與齡期關係



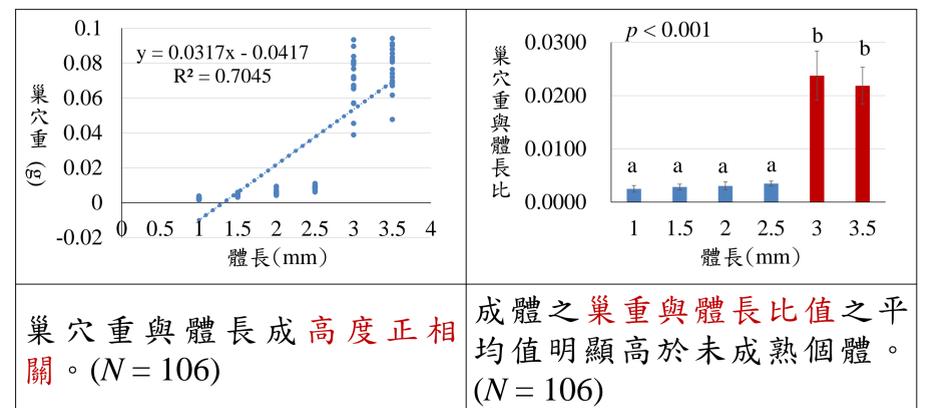
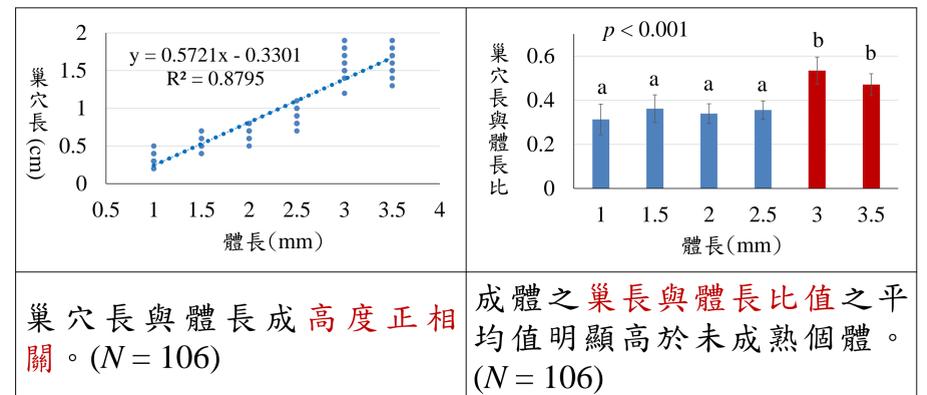
### (三)蜘蛛隨齡期增加在捕食能量的投資漸減



### (二)齡期與懸掛絲長及蜘蛛至地面高度比例變化之關係

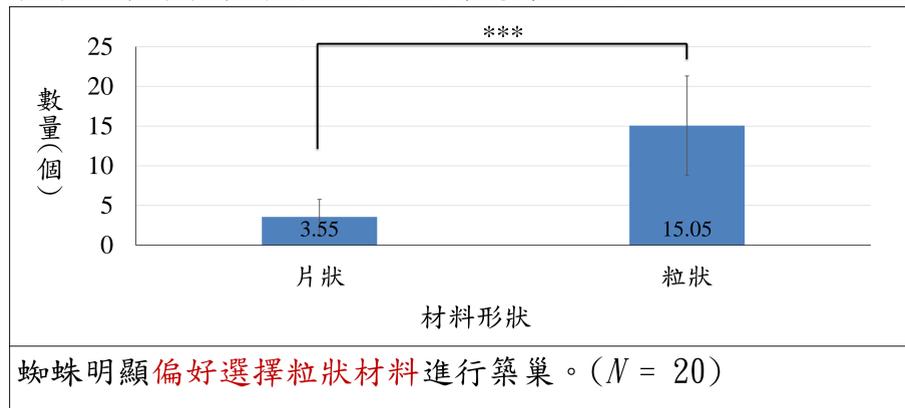


### (四)蜘蛛隨齡期增加在防禦能量的投資漸增

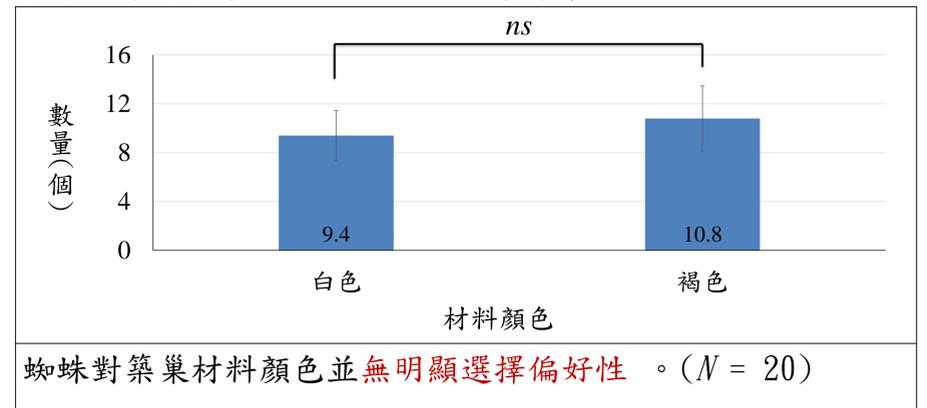


## 實驗二、探討蜘蛛築巢材料之選擇偏好性

### (一)蜘蛛對築巢材料之形狀具有選擇偏好性

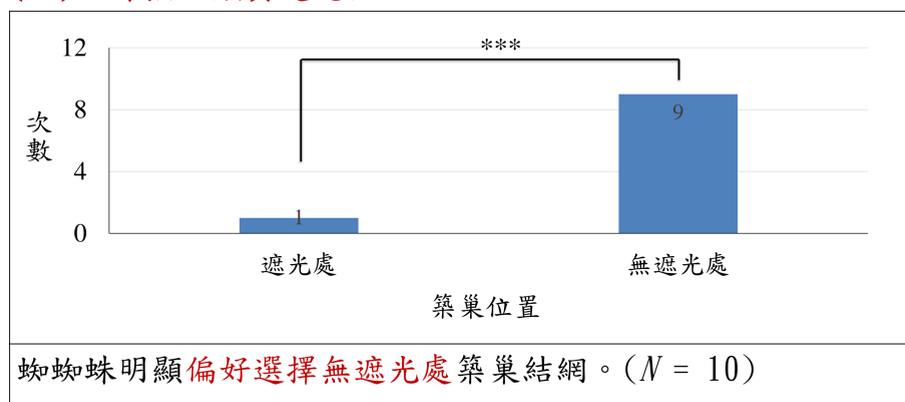


### (二)蜘蛛對築巢材料之顏色不具有選擇偏好性

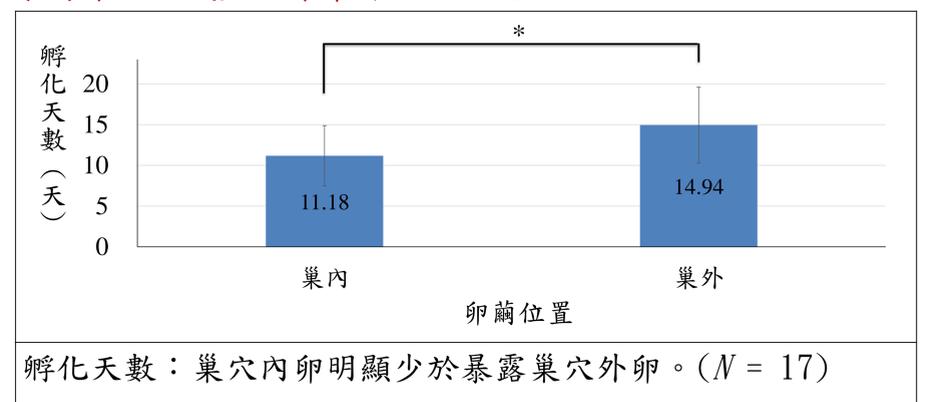


## 實驗三、探討蜘蛛巢穴之功能

### (一)蜘蛛無明顯負趨光性

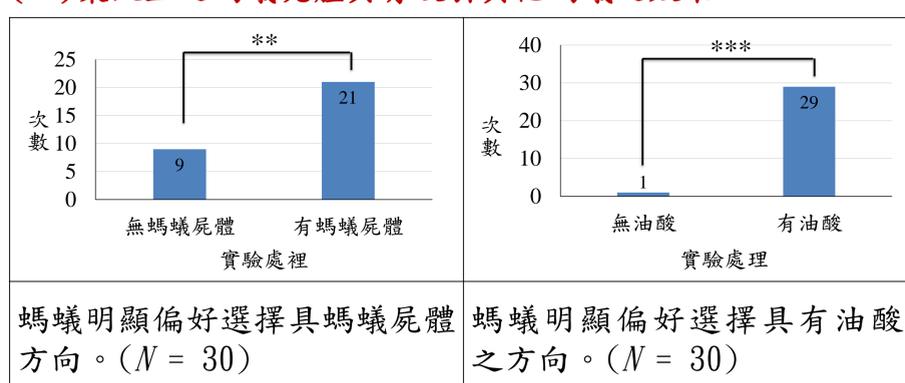


### (二)巢穴可減少蜘蛛卵孵化之天數



## 實驗四、探討蜘蛛巢穴上螞蟻屍體之功能

### (一)巢穴上之螞蟻屍體具有吸引其他螞蟻之效果

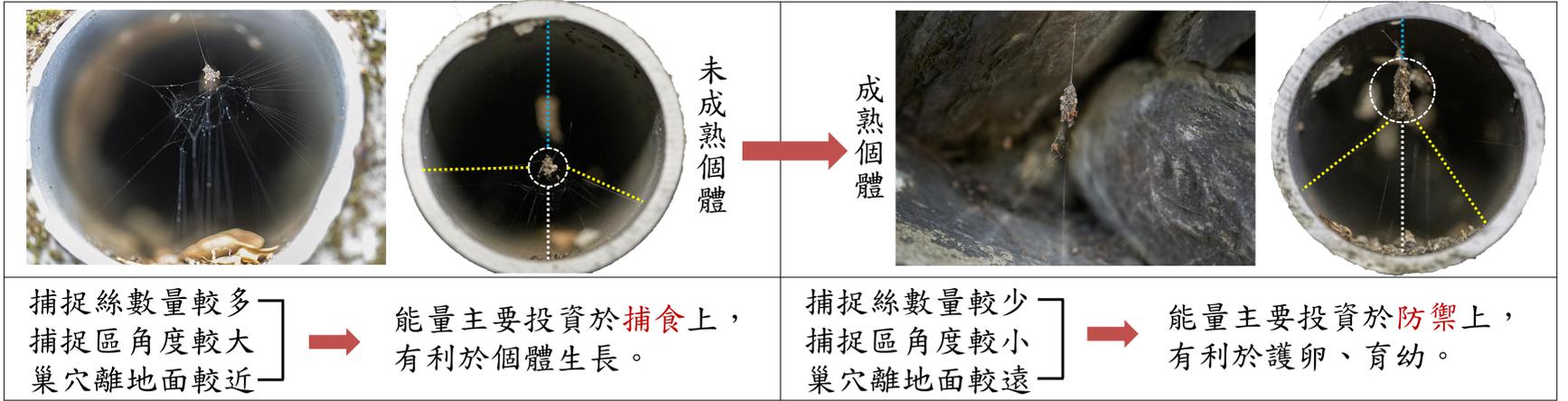


### (二)巢穴上之螞蟻屍體無明顯抑菌效果

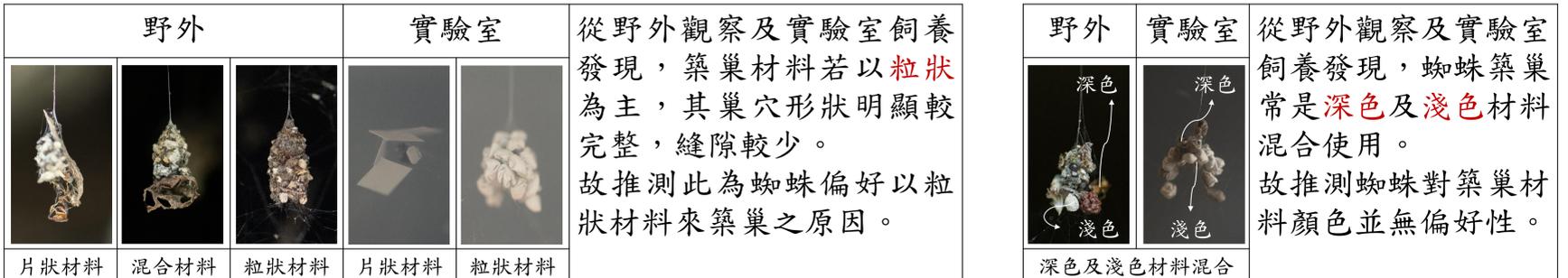


## 討論

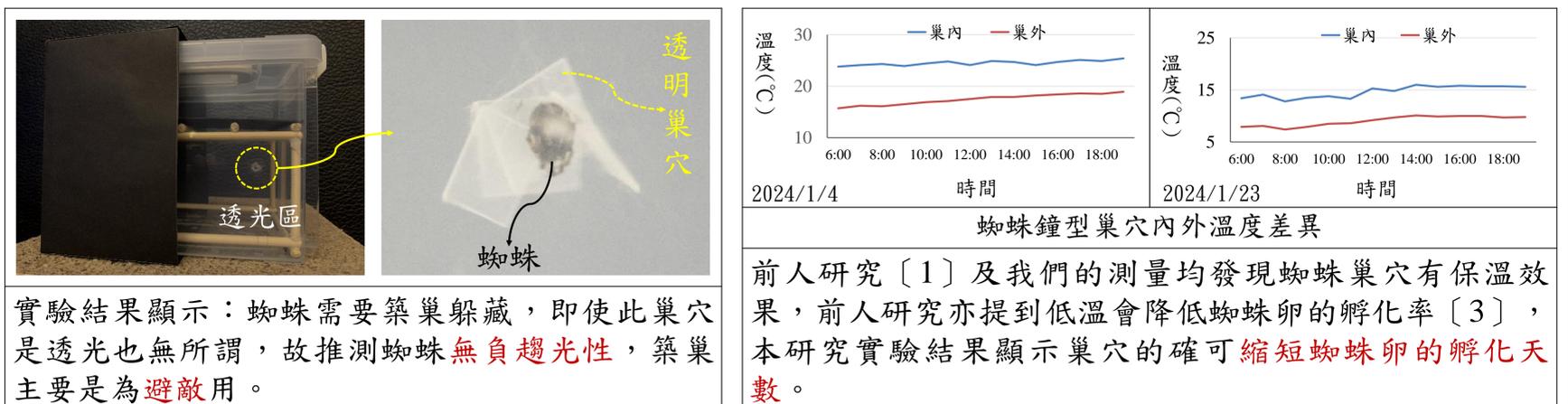
### 一、蜘蛛生活史過程中的能量分配之權衡現象



### 二、蜘蛛對築巢材料形狀及顏色之選擇偏好性



### 三、田中吊鐘姬蛛鐘型巢穴之功能



### 四、田中吊鐘姬蛛巢穴上螞蟻屍體之功能



## 結論

- 田中吊鐘姬蛛在生活史過程中能量投資的分配上明顯發生權衡現象，隨著齡期的增加，蜘蛛在捕食上的能量投資逐漸減少，相對隨著齡期的增加，蜘蛛在防禦與生殖上的能量投資逐漸增加，未成熟個體主要將能量花費在捕食上，成體後明顯將能量之投資轉移到防禦上。
- 田中吊鐘姬蛛偏好以粒狀之紙球來築巢，較少以片狀之紙片來築巢，以粒狀材料為築巢材料，蜘蛛所築的巢穴比較完整，但以片狀材料為築巢材料時，巢穴形狀不完整，縫隙較多。
- 田中吊鐘姬蛛築巢時對材料顏色並無特別選擇偏好性。
- 田中吊鐘姬蛛結網時寧可以透明材料築巢躲藏，而不移至暗處結網，可見田中吊鐘姬蛛不怕光，即不具負趨光性，推測築鐘型巢穴躲藏應是為了避敵。
- 田中吊鐘姬蛛之鐘型巢穴有保溫效果，可減少蛛卵孵化所需天數。
- 田中吊鐘姬蛛將螞蟻屍體黏附在巢穴上推測應有吸引其他螞蟻靠近的功能。
- 蜘蛛巢穴上之螞蟻屍體均無抑菌環產生，即野外蜘蛛鐘型巢穴上之螞蟻屍體應無抑菌效果。

## 主要參考文獻資料

- Humphreys W. F. (1978). The thermal biology of *Geolycosa godeffroyi* and other burrow inhabiting Lycosidae (Araneae) in Australia. *Oecologia*, 31, 319-347.
- McAfee, A., Chapman, A., Iovinella, I., Gallagher-Kurtzke, Y., Collins, T. F., Higo, H., Madilao, L. L., Pelosi, P. & Foster, L. J. (2018). A death pheromone, oleic acid, triggers hygienic behavior in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Scientific reports*, 8: 5719. doi:10.1038/s41598-018-24054-2
- Steves, I., Berliner, P., & Pinshow, B. (2021). Air Temperature and Humidity at the Bottom of Desert Wolf Spider Burrows Are Not Affected by Surface Conditions. *Insects*, 12 (10), 943. doi: 10.3390/insects12100943
- Zhang, H., Li, G., Li, C., Chen, J., Zhao, Z., Zhang, S., & Liu, J. (2022). Feeding mediated web-building plasticity in a cobweb spider. *Current Zoology*, 69 (6), 756 - 765. doi: 10.1093/cz/zoac077
- Zhang, H., Wen, L., Li, Z. and Li, C. (2023). Economic web-building behavior and behavioral investment trade-offs in a cobweb spider. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11 - 2023. doi: 10.3389/fevo.2023.1164310

【註】本研究所有照片及圖表均由指導教師或作者拍攝及繪製。